

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ордена Трудового Красного Знамени
Институт солнечно-земной физики
Сибирского отделения Российской академии наук**

О Т Ч Е Т

**О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ
И НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В 2021 г.**



Иркутск, 2022

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук создан в 1960 г.

Директор Института — чл.-корр. РАН А.В. Медведев.

Научный руководитель Института — академик РАН Г.А. Жеребцов

Основные научные направления Института:

– физика Солнца: изучение строения и активности Солнца и солнечноподобных звезд; физика солнечных вспышек и корональных выбросов массы; изучение эволюции Солнца, структуры солнечных магнитных полей и корональной плазмы; гелиосейсмология; механизмы радиоизлучения и методы диагностики корональной плазмы; мониторинг активных процессов на Солнце как источников возмущений в гелиосфере, магнитосфере, ионосфере и атмосфере Земли; разработка новых методов и аппаратуры для исследования в области астрофизики и физики Солнца;

– физика околоземного космического пространства: физика магнитосферы, ионосферы и верхней атмосферы; изучение магнитосферно-ионосферно-атмосферно-литосферных связей; выяснение механизмов влияния гелиосферных факторов на околоземное космическое пространство и атмосферу Земли, изучение эффектов космической погоды; ионосферное распространение радиоволн и радиофизические методы дистанционного зондирования; разработка новых методов и аппаратуры для диагностики и мониторинга окружающей среды (магнитосферы, ионосферы, атмосферы, литосферы) и активного воздействия на нее;

– проблемы астероидно-кометной опасности и экологии космоса: развитие оптических и радиофизических методов в области астероидно-кометной опасности, техногенного засорения и экологии космического пространства; мониторинг космического мусора и состояния космических аппаратов и станций;

– анализ и прогноз состояния климатической системы Земли: разработка и совершенствование моделей физических механизмов изменения климата с учетом солнечной активности; погодообразующие и климатообразующие факторы; влияние гелиосферных и геосферных факторов на атмосферу и стратосферно-тропосферный обмен;

– развитие уникальных стендов и установок, крупных научно-исследовательских комплексов, обработка данных наблюдений наземных и космических средств для решения научных и прикладных задач.

СТРУКТУРА ИНСТИТУТА

Научные подразделения

Отдел физики околоземного космического пространства

Руководитель отдела — д.ф.-м.н. В.И. Куркин

- Лаборатория физики ионосферно-магнитосферного взаимодействия (зав. лаб. — д.ф.-м.н. А.В. Тащилин)
- Лаборатория изучения плазменно-волновой структуры магнитосферы (зав. лаб. — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин)
- Лаборатория развития новых методов радиофизической диагностики атмосферы (зав. лаб. — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский)
- Лаборатория физики нижней и средней атмосферы (зав. лаб. — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев)
- Лаборатория исследования динамических процессов в ионосфере (зав. лаб. — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт)
- Лаборатория диагностики ионосферы и распространения радиоволн (зав. лаб. — д.ф.-м.н. В.И. Куркин)

- Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория (КМИО)
(зав. обсерваторией — И.С. Москалев)
- Геофизическая обсерватория (ГФО) (зав. обсерваторией — А.В. Татарников)
- Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы (ОРДА)
(зав. обсерваторией — А.В. Заворин)
- Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция (Норильская КМИС) (зав. станцией — О.Г. Омельян)

Отдел радиоастрофизики

- Руководитель отдела — к.ф.-м.н. С.В. Лесовой
 Руководитель научного направления по радиоастрофизике — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев
- Лаборатория мониторинга солнечной активности (зав. лаб. — к.т.н. А.В. Губин)
 - Лаборатория информационного обеспечения и методологии исследований
(зав. лаб. — к.ф.-м.н. Д.В. Просовецкий)
 - Лаборатория радиоастрофизических исследований Солнца
(зав. лаб. — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов)
 - Радиоастрофизическая обсерватория (РАО) (и.о. зав. обсерваторией П.М. Шипулин)

Отдел физики Солнца

- Руководитель отдела — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов
 Руководитель научного направления по физике Солнца — чл.-к. РАН
 В.М. Григорьев
- Лаборатория экспериментальной физики Солнца и астрофизического приборостроения (зав. лаб. — к.ф.-м.н. Д.Ю. Колобов)
 - Лаборатория строения солнечной атмосферы
(зав. лаб. — д.ф.-м.н. В.И. Скоморовский)
 - Лаборатория солнечной активности (зав. лаб. — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов)
 - Лаборатория инфракрасных методов в астрофизике
(зав. лаб. — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич)
 - Байкальская астрофизическая обсерватория (БАО)
(и.о. зав. обсерваторией — к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев)
 - Саянская солнечная обсерватория (ССО) (зав. обсерваторией — С.В. Латышев)

Конструкторский отдел

- Зав. отд. — А.Я. Смольков
- Сектор электронной аппаратуры (зав. сектором — А.Я. Смольков)
 - Экспериментальный цех (нач. цеха — В.С. Федотов)

Отдел аспирантуры и магистратуры

Зав. отд. — Е.П. Белоусова

Отдел по защите информации и сетевому сопровождению

Зав. отд. — А.С. Шелопугин

Отдел по капитальному строительству

Руководитель отдела — зам. директора по капитальному строительству П.В. Фадеев

Административно-хозяйственные подразделения

- Отдел кадров (зав. отд. — Е.В. Фрейдман)
- Бухгалтерия (гл. бухгалтер — Е.А. Меньшикова)
- Планово-экономический отдел (зав. отд. — И.Н. Леонова)
- Канцелярия (вед. документовед — О.А. Лушева)
- Службы и группы хозяйственного обслуживания

Научно-вспомогательное подразделение

- Редакционно-издательский отдел (зав. отд. — М.В. Никонова)
- Научная библиотека (зав. библиотекой — О.Н. Капуркина)
- Патентный отдел (зав. отд. — д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов)
- Первый отдел (нач. отдела — Л.Ф. Мова)
- Группа переводчиков
- Группа научно-технического сопровождения

Руководство Института

<i>Директор</i>	чл.-корр. РАН А.В. Медведев
<i>Научный руководитель</i>	академик РАН Г.А. Жеребцов
<i>Первый заместитель директора</i>	д.ф.-м.н. С.В. Олемской
<i>Заместители директора по научно-исследовательской работе</i>	д.ф.-м.н. М.Л. Демидов к.ф.-м.н. С.В. Лесовой
<i>Заместитель директора по научной работе и инновационной деятельности</i>	к.ф.-м.н. В.В. Хахинов
<i>Руководитель научного направления по физике Солнца</i>	чл.-корр. РАН В.М. Григорьев
<i>Руководитель научного направления по радиоастрофизике</i>	д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев
<i>Заместитель директора по капитальному строительству</i>	П.В. Фадеев
<i>Заместитель директора по общим вопросам</i>	В.М. Алешков
<i>Ученый секретарь</i>	к.ф.-м.н. И.И. Салахутдинова
Адрес:	664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 126-А
Телефон:	(3952) 42-82-65
Факс:	(3952) 51-16-75, (3952)42-55-57
e-mail; web:	uzel@iszf.irk.ru; www.iszf.irk.ru

1. О выполнении постановления Правительства РФ № 1504 от 26.12.2014 г. «Об осуществлении бюджетных инвестиций в проектирование и строительство объектов капитального строительства «Укрупненный инвестиционный проект «Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук», 1 этап», распоряжение Правительства от 01.12.2018 № 2659-р.

1.1. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Радиогелиограф

Ответственный руководитель объекта — руководитель научного направления по радиоастрофизике д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев, зам. ответственного руководителя объекта — заместитель директора по научно-исследовательской работе к.ф.-м.н. С.В. Лесовой.

Радиогелиограф — радиотелескоп, предназначенный для исследования короны Солнца в микроволновом диапазоне. Нижняя корона и переходная область между хромосферой и короной представляют собой наиболее переменчивые слои солнечной атмосферы. Их исследование в оптическом диапазоне затруднено тем, что излучение от этих слоев много меньше излучения от солнечного диска. Поэтому использование микроволновых данных радиогелиографа является приоритетной задачей в исследовании природы солнечной активности.

Выбор диапазона частот радиогелиографа был обусловлен тем, что радиоизлучение переходной области приходится в основном на диапазон от единиц до десятков гигагерц. Пространственное разрешение радиогелиографа определяется характерными размерами излучающих структур в микроволновом диапазоне и составляет не менее нескольких угловых секунд. Спектральное разрешение обусловлено ожидаемой добротностью — не более сотни. Наконец, временное разрешение (не менее 1 с) должно быть согласовано с возможностью совместной обработки данных радиогелиографа и спутниковых обсерваторий. Эти параметры были заложены в проект радиогелиографа.

Конфигурация антенной решетки солнечного радиоинтерферометра выбирается с учетом возможности калибровки коэффициентов передачи антенн. Такая калибровка составляет до 90 % всей обработки данных и является определяющим фактором при выборе конфигурации. Специфика солнечного радиоинтерферометра — малые диаметры антенн, что не дает возможности использования известных дискретных источников радиоизлучения для калибровки. Самокалибровка солнечного интерферометра не решает всех проблем, поскольку является модельно-зависимой, что нежелательно для столь сложного объекта, как Солнце. Исходя из вышесказанного, была выбрана антенная конфигурация с избыточностью, позволяющая проводить калибровку по наблюдаемым данным, но не зависящая от модели.

Радиогелиограф находится в стадии окончания монтажных работ. Он состоит из трех Т-образных антенных решеток, работающих в диапазонах частот 3–6, 6–12, 12–24 ГГц. Первые две смонтированы полностью и подключены к питающему напряжению 220 В по временной схеме. Это позволяет проводить на них тестовые наблюдения с целью определения работоспособности решетки в целом, измерения достигнутых параметров решетки и разработки методов калибровки данных радиогелиографа. На решетке 12–24 ГГц необходимо смонтировать облучатели, которые были демонтированы и отправлены на повышение герметизации из-за выявленных в процессе монтажа недостатков. Общий вид радиогелиографа показан на рис. 1.1.1.



Рис. 1.1.1. Общий вид радиогелиографа. Антенны с разными диаметрами рефлекторов относятся к разным решеткам, работающим в диапазонах 3–6, 6–12, 12–24 ГГц

Тестовые наблюдения на решетке 3–6 ГГц проводились в апреле–сентябре 2021 г. По результатам наблюдений выяснено, что концепция радиогелиографа (конфигурация антенной решетки, способ передачи сигнала от антенн в рабочее здание, функциональная схема цифровой части) выбрана верно — радиогелиограф получает изображение с ожидаемыми параметрами по чувствительности и пространственному разрешению. Чувствительность по плотности потока достигает 100 Янских, пространственное разрешение на частоте 6 ГГц близко к ожидаемым 11 угл. сек. Пример данных решетки 3–6 ГГц приведен на рис. 1.1.2.

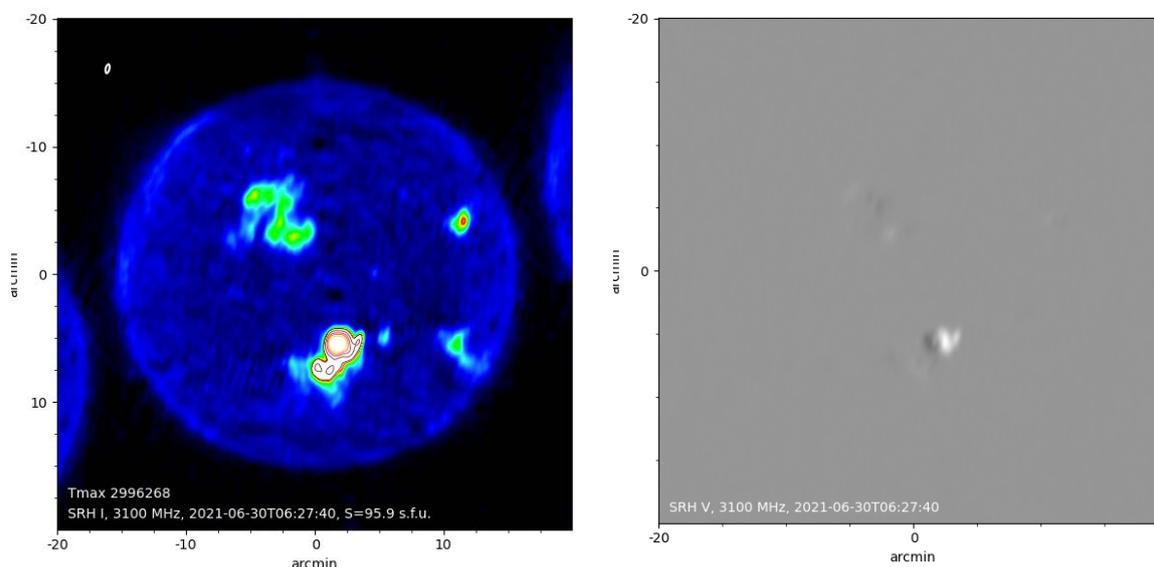


Рис. 1.1.2. Изображения в интенсивности (слева) и в круговой поляризации (справа), полученные на частоте 3.1 ГГц. Спектральная плотность потока 95.9 s.f.u. хорошо согласуется с ожидаемым значением на этой частоте. Эллипс в верхнем левом углу интенсивности показывает размеры и ориентацию диаграммы направленности радиогелиографа в момент наблюдений

Тестовые наблюдения на решетке 6–12 ГГц проводились 9–15 ноября 2021 г. и проводятся с 11 декабря по настоящее время. Результаты наблюдений показывают, что решетка 6–12 ГГц, так же как и решетка 3–6 ГГц, готова к проведению регулярных наблюдений. Пример данных, полученных в диапазоне 6–12 ГГц, показан на рис. 1.1.3.

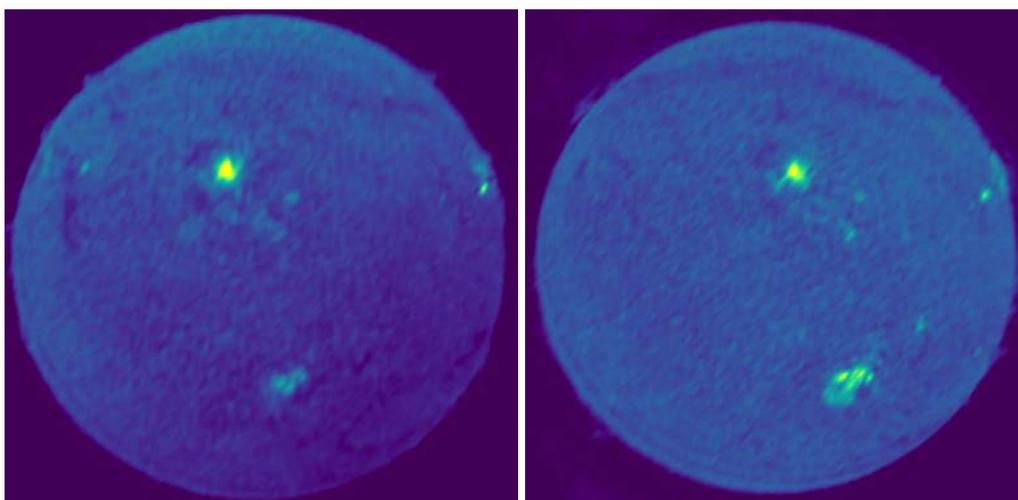


Рис. 1.1.3. Данные радиогелиографа в диапазоне 7.8–11.8 ГГц, полученные 12 и 13 ноября 2021 г. Хорошо видны все типы корональной активности: источники над пятнами, факелы, волокна, протуберанцы. Чувствительность по яркостной температуре ~2000 К, температура солнечного диска 12000–15000 К

1.2. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Оптические инструменты

Ответственный руководитель объекта — зав. лабораторией к.ф.-м.н. Р.В. Васильев, ответственный исполнитель — старший научный сотрудник к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий.

Оптические инструменты являются средством мониторинга состояния нейтральной компоненты верхней атмосферы при помощи наблюдения ее естественного свечения, возникающего в результате химических реакций. Спектральный состав такого естественного свечения верхней атмосферы состоит преимущественно из линий и полос атомарных и молекулярных переходов. Оптические инструменты определяют характеристики этих линий, из которых извлекают информацию о химическом составе, температуре и скорости ветра в верхней атмосфере в диапазоне высот 80–300 км.

Наиболее универсальными приборами для этих целей являются интерферометры Фабри—Перо, адаптированные для аэрономических исследований. Эти устройства состоят из перископического входного окна с возможностью наблюдения любой точки небесной сферы, набора полосовых светофильтров для наблюдения основных линий свечения верхней атмосферы, термостабилизированного эталона Фабри—Перо для определения формы линий, калибровочной системы с частотно-стабилизированным лазером и управляющим компьютером. По интерферограммам свечения ночного неба можно получать динамику интенсивности линий, их положение и уширение, на основе чего можно делать выводы о динамике ветра, температуры и химического состава на фоне различных геофизических событий. Цифровые высокочувствительные фотокамеры, оснащенные полосовыми светофильтрами, позволяют определять пространственное распределение интенсивности основных линий свечения верхней атмосферы и тем самым оценивать неоднородность химического состава верхней атмосферы, его динамику в поле зрения камеры, исследовать волновые процессы различного характера и морфологию выпадения частиц во время геомагнитных бурь. Быстрые фотометры, регистрирующие субсекундные вариации интенсивности основных линий свечения, позволяют исследовать быстрые процессы, возникающие в результате вариаций геомагнитного поля, потоков выпадающих частиц, работы двигателей космических аппаратов. Спектрометры видимого и инфракрасного диапазонов необходимы для создания максимально полной картины спектрального состава свечения верхней атмосферы, его вариаций под действием регулярного сезонно-суточного хода или геомагнитных бурь и мощных метеорологических событий.

Оптические инструменты Национального гелиогеофизического комплекса установлены в современном трехэтажном здании, оборудованном необходимыми климатическими и технологическими системами для создания максимально эффективных условий работы. Каждый инструмент оборудован индивидуальным полусферическим иллюминатором для проведения наблюдений, вмонтированным в крышу здания. Под каждым иллюминатором расположено специализированное устройство, осуществляющее регулярный ежедневный подъем оптических инструментов в подкупольное пространство для проведения наблюдений и их спуск в положение для технического обслуживания и защиты от прямого солнечного излучения. Второй этаж технического здания предназначен для работы операторов оптических инструментов. Для этой цели на втором этаже создан зал с рабочими местами, оборудованными современными ПК, и серверная комната с серверами, обеспечивающими промежуточное хранение данных наблюдений, их первичную обработку, мониторинг работы оптических инструментов и широкополосный доступ в интернет. На первом этаже находятся технологические помещения, обеспечивающие работу систем отопления и вентиляции, санузел и помещение для технических работ с оборудованием.

Кроме этого здания, в обсерватории построен административно-хозяйственный корпус. В нем имеются комнаты для проживания, столовая, комната отдыха и конференц-зал с необходимым мультимедийным оборудованием для проведения рабочих встреч.

Объект «Оптические инструменты» полностью готов к эксплуатации. На макетах оптических инструментов разработан ряд методик проведения наблюдений, которые можно

применять к созданным оптическим инструментам. В частности, для интерферометров Фабри—Перо проведена адаптация метода обработки интерферограмм для автоматического получения параметров линий, предложена методика наблюдений, позволяющая оценивать динамику вертикального ветра. Для камер всего неба разработана методика автоматической геодезической привязки наблюдаемых вариаций интенсивности, разрабатывается методика автоматического детектирования и определения параметров волновых возмущений. На макетах показано также, что быстрые фотометры могут эффективно регистрировать слабые вариации зеленой линии свечения атомарного кислорода в экспериментах по искусственной модификации ионосферы. Разрабатываются методы проведения дневных наблюдений спектров поглощения солнечного излучения в атмосфере Земли для осуществления круглосуточного мониторинга некоторых атмосферных компонент.

Следует отметить, что ввод в эксплуатацию оптических инструментов откроет дополнительные рабочие места в подразделениях Института для молодых специалистов с целью их привлечения к научным исследованиям атмосферы Земли и околоземного космического пространства.



Рис. 1.2.1. Здание нового технического помещения (виды сбоку и сверху) для оптических инструментов и сами инструменты, размещенные в здании

1.3. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Солнечный телескоп-коронаграф

Ответственный руководитель объекта – руководитель научного направления по физике Солнца, чл.-корр. РАН В.М. Григорьев, зам. ответственного руководителя объекта — зам. директора по научно-исследовательской работе, д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, ответственный исполнитель – заведующий лабораторией, к.ф.-м.н. Д.Ю. Колобов.

Проект «Солнечный телескоп-коронаграф» (СТК) ставит своей целью получение научных данных, требуемых для решения наиболее важных задач физики Солнца:

- природа магнитных полей на Солнце и солнечная активность — определение тонкой структуры и эволюции различных образований в солнечной атмосфере, таких как солнечные пятна, факелы, волокна и др.;
- причины нагрева верхних слоёв солнечной атмосферы — изучение связанных динамических явлений и волновых процессов, в том числе на масштабах ~30–100 км;
- понимание процессов всплытия магнитных потоков — наблюдение наиболее глубоких слоев солнечной атмосферы с высоким разрешением;
- магнитное взаимодействие слоев солнечной атмосферы — измерение вектора магнитного поля и движений вещества с разрешением по глубине в солнечной атмосфере.

Все перечисленные задачи главным образом нуждаются в экспериментальных данных высокого разрешения: временном, спектральном и пространственном, включая разрешение по глубине солнечной атмосферы. Достижение высокого разрешения обуславливает требования и необходимость создания крупного солнечного телескопа.

Идеи создать подобный телескоп возникали в разных организациях еще в конце 80-х гг. Концепция крупного телескопа была предложена и в ИСЗФ СО РАН. Предпроектная подготовка началась в Институте в начале 2000-х гг. и включала анализ научных задач и соответствующих технических требований. С 2013 г. проект вступил в активную фазу. На первых этапах были определены технические решения для достижения основных требований научных задач. Была разработана оптическая схема СТК, определены габариты оптомеханических систем и их элементов, предложены варианты их компоновки, удовлетворяющие требованиям научных задач и вариантам размещения телескопа в башне. В свою очередь, это позволило уточнить требования к строительной части проекта: башне и куполу. На последующих этапах были выполнены прочностные расчеты оптических и механических конструкций, заданы допуски по изготовлению и юстировке различных систем и их элементов, определены контролируемые параметры. Особое внимание было уделено расчетам систем активной и адаптивной оптики, учету влияния рассеянного света и его подавлению: конструкциям и положениям отсекаелей и светозащитных бленд, требованиям к шероховатости поверхностей. На уровне системного анализа были детально подтверждены характеристики всех систем, включая оптическую, оптомеханическую, механическую, электрическую и электрооптическую, термостабилизации и охлаждения, автоматизации и управления и др. Помимо качества волнового фронта и частотно-контрастной характеристики было важно подтвердить поляризационные свойства всей системы¹, а также эффективность используемого светового потока с учетом типов покрытия оптических элементов. Расчеты и анализ выполнялись с помощью современных средств моделирования и 3D-проектирования, а также с помощью методов собственной разработки. Основные параметры СТК приведены в работе², а общий вид дан на рис. 1.3.1.

¹ Кукушкин Д.Е., Белан А.Р., Бахолдин А.В., Колобов Д.Ю., Чупраков С.А., Демидов М.Л., Васильев В.Н. Предварительная оценка инструментальных поляризационных эффектов Крупного солнечного телескопа КСТ-3 // Оптический журнал. 2020. Т. 87, № 12. С. 3–17. DOI: 10.17586/1023-5086-2020-87-12-03-17.

² Григорьев В. М., Демидов М. Л., Колобов Д. Ю., Пуляев В. А., Скоморовский В. И., Чупраков С. А., команда AMOS. Проект Крупного солнечного телескопа с диаметром зеркала 3 м // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 2. С. 19–36. DOI: 10.12737/szf-62202002.

К 2019 г. были получены проектные решения по основному оборудованию Солнечного телескопа-коронографа, позволяющие достигать предельных характеристик при получении изображения атмосферы Солнца в ходе выполнения задач научной программы. Проектные решения и их стоимость в том числе были подтверждены заключением Технологического ценового аудита. Для обеспечения требуемого качества волнового фронта, который дает оптическая система в условиях земной атмосферы, предусматривается использование самых современных методов активной и адаптивной коррекции. Рабочее поле зрения 2 угл. мин удовлетворяет требованиям известных экспериментальных задач для телескопов подобного класса. Использование адаптивной оптики высокого порядка позволит применять математические методы восстановления изображения и приближаться на большей части углового поля к качеству, сопоставимому с дифракционным. На системном уровне предусматривается многоступенчатая схема подавления искажений волнового фронта, вызванных следующими факторами:

- турбулентность атмосферы Земли;
- неравномерный нагрев купола;
- неоднородность потоков воздуха в подкупольном пространстве;
- нагрев узла главного фокуса;
- неоднородность распределения температуры главного зеркала;
- образование теплых ячеек воздуха над поверхностью главного зеркала;
- динамические ошибки различной природы в юстировке оптики;
- неламинарность потоков в лаборатории куде и др.

Централизованное управление комплексом осуществляется Автоматизированной системой управления обсерваторией (АСУО). Создан задел по методам расчета параметров эксперимента для описания конфигураций АСУО, а также для оценки потока выходных данных СТК. Параметры эксперимента включают в себя распределение светового потока между каналами фокальных инструментов, задание пространственного и спектрального разрешения, параметры анализатора поляризации, времени экспозиции и т.д. В зависимости от различных условий наблюдений АСУО перераспределяет основные ресурсы для достижения заданных требований эксперимента и в конечном счете для решения поставленной научной задачи.

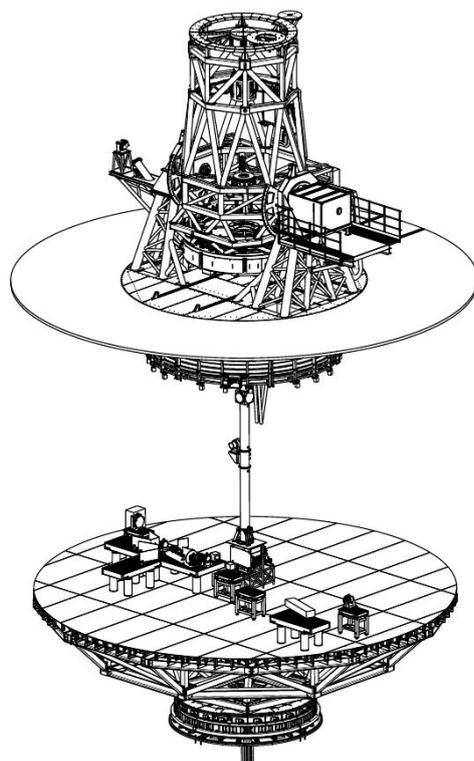


Рис. 1.3.1. Общий вид телескопа и платформы куде

С 2013 г. непрерывно велась проработка архитектурных концептов зданий СТК. На площадке будущего строительства в Саянской солнечной обсерватории выполнены инженерные изыскания, по которым было получено положительное заключение экспертизы. Проектные решения по основному оборудованию предъявили требования к различным ресурсам для обеспечения работы СТК. Для поддержания эксплуатационных показателей в обсерватории предусмотрен ряд технологических процессов по нанесению покрытий на оптические элементы, а также по юстировке оптических узлов в условиях чистых помещений с использованием высокоточного измерительного оборудования. Все это позволило определить полный набор исходных данных для проектирования инженерных систем и утвердить финальные требования к зданиям и сооружениям. В 2020–2021 гг. были спроектированы конструкция башни телескопа и вспомогательных зданий, а также инженерные системы технического холодоснабжения, кондиционирования и вентиляции воздуха, теплоснабжения, водоснабжения, технического воздухообеспечения, систем бесперебойного электрического питания, систем охраны и пожарной безопасности. СТК проделал путь от научной идеи и аванпроекта до проекта на объект капитального строительства.

В 2021 г. был сформирован комплект проектной документации стадии «П» на объект в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 87 и подан в ФАУ «Главгосэкспертиза России». По результатам экспертизы проект СТК получил положительное заключение № 03-1-1-2-086554-2021 от 30.12.2021 г. Таким образом, подтверждено, что ИСЗФ СО РАН готов приступить к капитальному строительству — возведению зданий и изготовлению оборудования Солнечного-телескопа коронографа.



Рис. 1.3.2. Общий вид здания и башни для размещения телескопа

2. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

2.1. Исследования в области физики Солнца, радиофизики и космических лучей

2.1.1. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности

2.1.1.1. Механизмы динамо на звездах солнечного типа с разной скоростью вращения

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов. Автор результата — д.ф.-м.н. В.В. Пипин

На основе численной модели крупномасштабного динамо исследованы циклы магнитной активности для звезд солнечного типа с периодом вращения от 1 до 30 сут. Показано, что механизмы генерации магнитной активности меняются в зависимости от скорости вращения звезды. На современном Солнце магнитный цикл обусловлен механизмом Паркера. В этом случае динамо-волны распространяются при участии меридиональной

циркуляции и турбулентных процессов со дна конвективной зоны до поверхности вдоль изолиний угловой скорости. На поверхности они проявляются в 11-летних колебаниях количества пятен и полярности активных групп пятен. В каждый момент цикла модель показывает одну-две динамо-волны на полушарии по радиусу (рис. 2.1.1.1.1, панель 25d). Паркерское динамо сохраняется в звездах с периодом вращения более 10 сут (рис. 2.1.1.1.1, панель 10d). На звездах с периодом вращения 2 сут процессы генерации полей переходят в режим насыщения. Насыщение динамо сопровождается депрессией дифференциального вращения и сменой знака меридиональной циркуляции (рис. 2.1.1.1.1, панель 1d). Магнитная активность на быстровращающихся звездах солнечного типа имеет квазипериодический нестационарный характер.

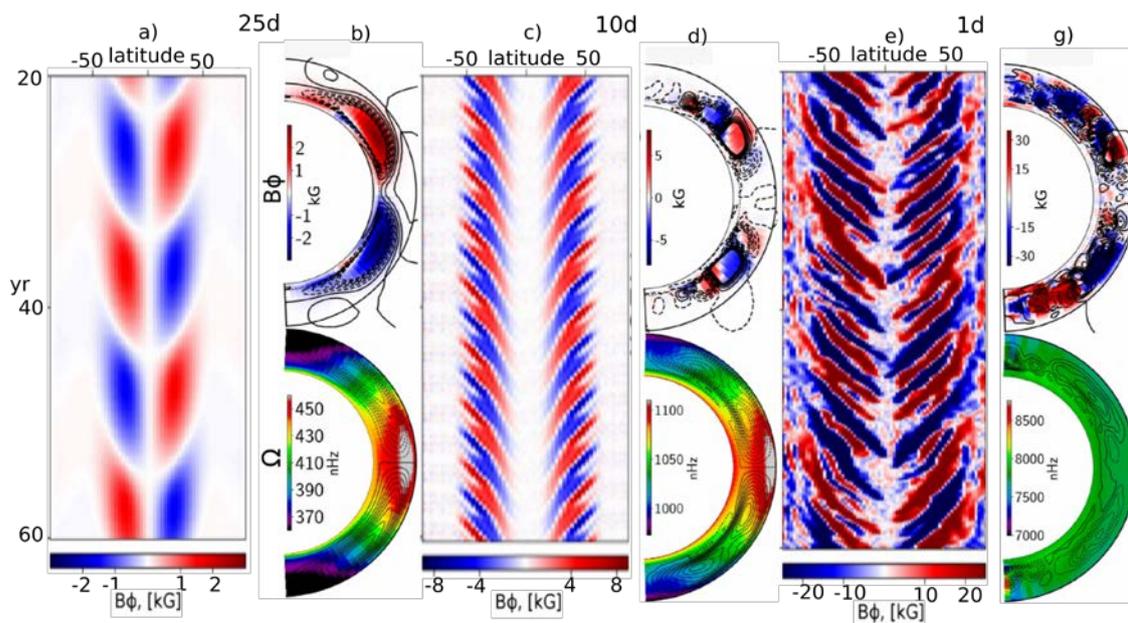


Рис. 2.1.1.1.1. Солнечные волны Паркера тороидального поля вблизи поверхности звезды (a); распределения (b): сверху — напряженность тороидального магнитного поля (цвет) и линии тока полоидального магнитного поля (изолинии) в максимуме цикла; внизу — угловая скорость (цвет) и линии тока меридиональной циркуляции (изолинии). Панели 10d и 1d показывают результаты для периода вращения Солнца 10 дней и 1 день.

Публикация:

Pipin V.V. Solar dynamo cycles variations with rotational periods // *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 2021. Vol. 502, iss. 2. P. 2565–2581. DOI:10.1093/mnras/stab033.

2.1.1.2. Развитие активности и эволюция полярных магнитных полей Солнца в циклах 21–24

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов¹, Б.Б. Карак², Д. Баннерджи³, Е.М. Голубева¹, к.ф.-м.н. А.И. Хлыстова¹, П. Кумар², к.ф.-м.н. А.В. Жукова⁴

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — Индийский технологический институт, Индия

3 — Исследовательский институт наблюдательных наук имени Арьябхатта, Индия

4 — КрАО РАН

По синоптическим картам магнитного поля изучено развитие активности Солнца в циклах 21–24. Показано, что особенности индивидуальных 11-летних циклов определяются пространственно-временной организацией магнитных потоков возникающих активных областей и их свойствами (рис. 2.1.1.2.1). Исследовано формирование и изменение полярного поля низкоширотной активностью Солнца. Идентифицированы основные серджи

остаточных магнитных потоков, распространяющиеся к солнечным полюсам. Серджи лидирующих полярностей появляются после распада активных областей, не соответствующих законам Джоя и Хейла. Найдены серджи остаточных магнитных потоков лидирующей полярности во время минимумов циклов между смежными 11-летними циклами. Эти серджи показывают физические связи между последующими солнечными циклами.

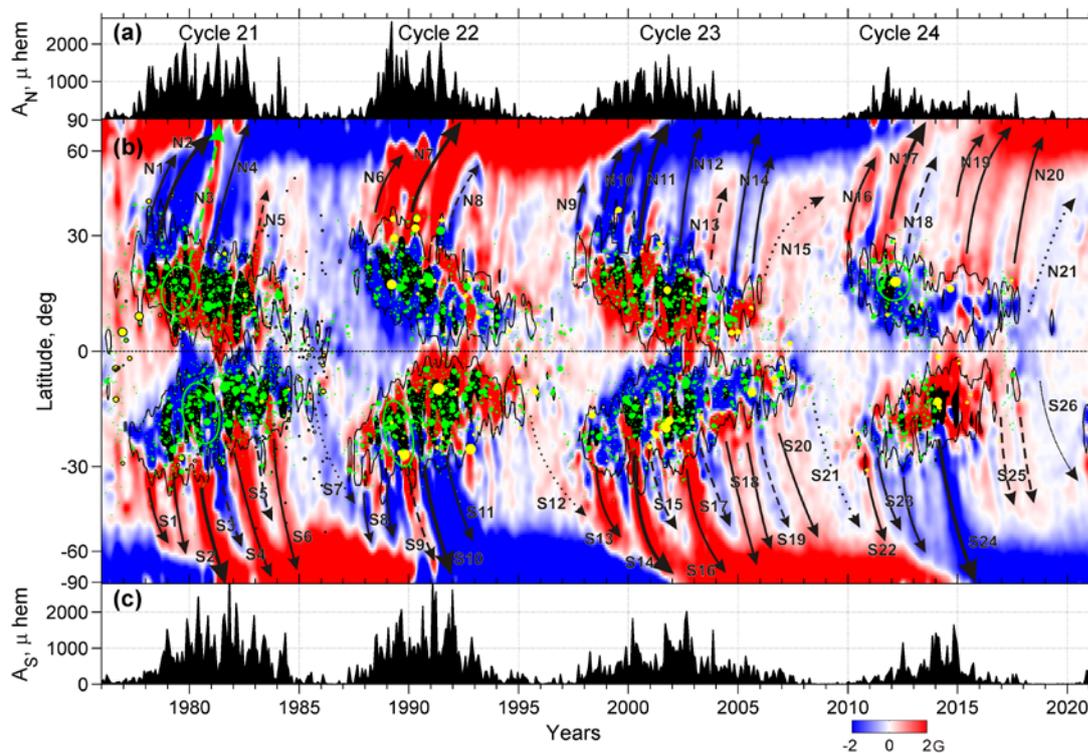


Рис. 2.1.1.2.1. Изменения площадей пятен в северном (a) и южном (c) полушариях Солнца. Широтно-временное распределение усредненных магнитных полей (b, красно-синие тона); черным показаны зоны интенсивного пятнообразования. Сплошные и штриховые стрелки показывают серджи последующих и ведущих полярностей внутри циклов. Пунктирные стрелки показывают серджи ведущих полярностей между соседними циклами. Серджи ведущих полярностей формируются после распада аномальных активных областей (зеленые и желтые маркеры)

Публикация:

Mordvinov A.V., Karak B.B., Banerjee D., Golubeva E.M., Khlystova A.I., Zhukova A.V., Kumar P. Evolution of the Sun's activity and the poleward transport of remnant magnetic flux in cycles 21–24 // *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 2021. Vol. 510, iss. 1. P. 1331–1339. DOI: 10.1093/mnras/stab3528.

2.1.1.3. Долговременная вариация северо-южной асимметрии солнечной активности

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов. Авторы результата — д.ф.-м.н. Л.Л. Кичатинов, к.ф.-м.н. А.И. Хлыстова

Предложена модель динамо северо-южной асимметрии солнечной активности. Физический механизм северо-южной асимметрии, реализованный в количественной (численной) модели, заключается в возбуждении через флуктуации альфа-эффекта динамо-моды с квадрупольным типом экваториальной симметрии доминирующей дипольной модой. Наложение дипольной и квадрупольной мод дает асимметричное магнитное поле.

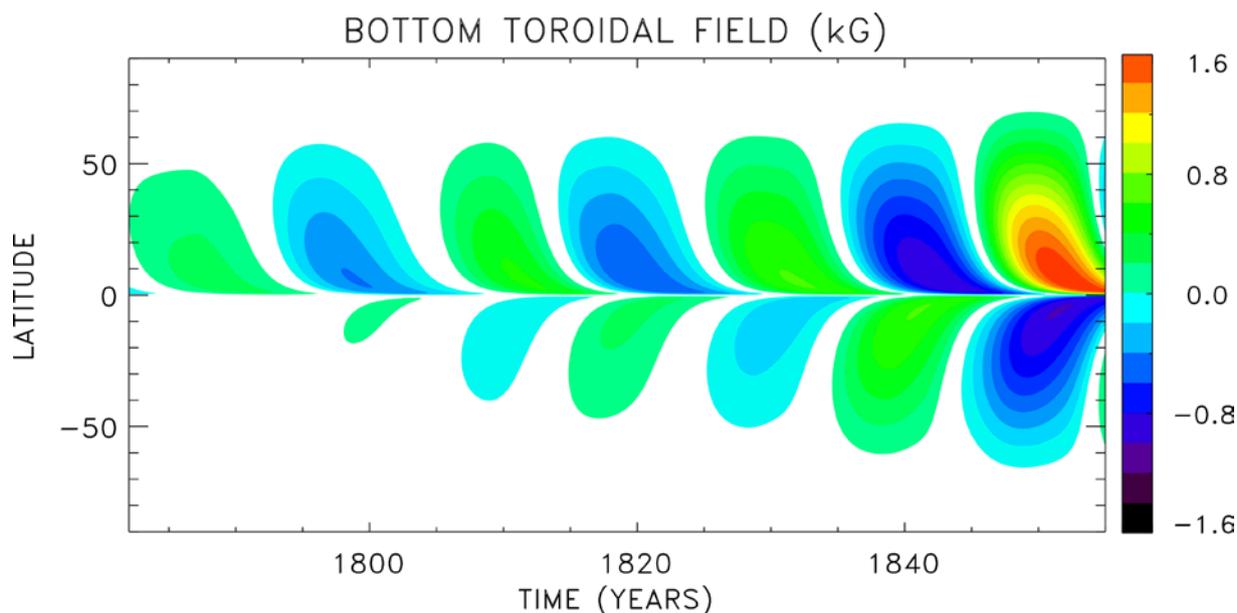


Рис. 2.1.1.3.1. Фрагмент широтно-временной диаграммы экваториально-асимметричного тороидального поля численной модели динамо

Публикация:

Kitchatinov L., Khlystova A. Dynamo model for north-south asymmetry of solar activity // *Astrophys. J.* 2021. Vol. 919, no. 1, id. 36. 10 p. DOI: [10.3847/1538-4357/ac1113](https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac1113).

2.1.2. Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца

2.1.2.1. Теория теплового радиоизлучения многокомпонентной многотемпературной плазмы

Проект «Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца». Руководители — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов и д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов¹, G.D. Fleishman², E. Landi³

1 — *ИСЗФ СО РАН*

2 — *New Jersey Institute of Technology (Newark, USA)*

3 — *University of Michigan (Ann Arbor, USA)*

Впервые разработана теория теплового радиоизлучения многотемпературной плазмы, учитывающая тот факт, что в солнечной короне на малых масштабах могут быть перемешаны области с плазмой различной температуры. В рамках тормозного механизма такая плазма описывается в терминах дифференциальной меры эмиссии. Новая теория учитывает также влияние тяжелых элементов и зависящей от температуры степени ионизации. В рамках гирорезонансного механизма была введена новая характеристика многотемпературной плазмы — дифференциальная мера плотности. На основе новой теории были разработаны компьютерные коды для моделирования солнечного радиоизлучения. Показано, что интенсивности гирорезонансного излучения, вычисленные с использованием новой многотемпературной теории и классического однотемпературного подхода, могут отличаться в несколько раз (рис. 2.1.2.1.1). Новая теория и коды позволят существенно усовершенствовать диагностику процессов нагрева короны по радионаблюдениям.

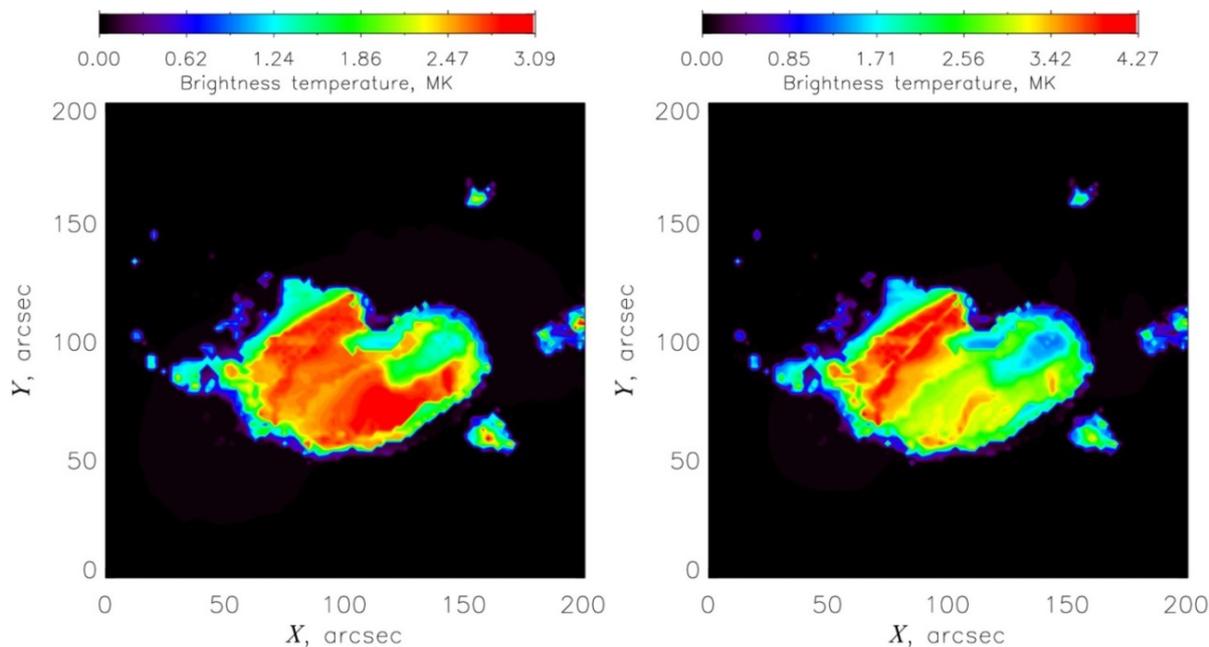


Рис. 2.1.2.1.1. Результаты моделирования радиоизлучения солнечной активной области (карта радиояркости на частоте 5.7 ГГц) с использованием однотемпературного (слева) и многотемпературного (справа) подходов

Публикации:

Fleishman G.D., Kuznetsov A.A., Landi E. Gyroresonance and free-free radio emissions from multithermal multicomponent plasma // *Astrophys. J.* 2021. Vol. 914, id. 52. DOI: 10.3847/1538-4357/abf92c.

Kuznetsov A., Fleishman G., Landi E. Codes for computing the solar gyroresonance and free-free radio emissions: the first release // *Zenodo.* 2021. DOI: 10.5281/zenodo.4625572.

2.1.2.2. Исследование МГД-колебаний в корональных дырах

Проект «Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца». Руководители — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов и д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.А. Челпанов, д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов.

На основе спектральных наблюдений в линиях фотосферы и хромосферы, проведенных на Автоматизированном солнечном телескопе Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН, было обнаружено, что как фотосферные, так и хромосферные сигналы имеют общие периоды в диапазоне пяти минут, тогда как сигналы вне корональных дыр не показывают такой общности (рис. 2.1.2.2.1). Этот результат говорит о том, что в корональных дырах волны с пятиминутным периодом являются наиболее вероятным претендентом на распространение из фотосферы в хромосферу. Фазовые сдвиги между сигналами в разных линиях, а также между сигналами скорости и интенсивности указывают на распространение волн вверх со скоростью, немного превышающей скорость звуковых волн в хромосфере. Наблюдаемые колебания ширин фотосферных и хромосферных спектральных линий, вероятнее всего, являются проявлениями медленных магнитогидродинамических волн.

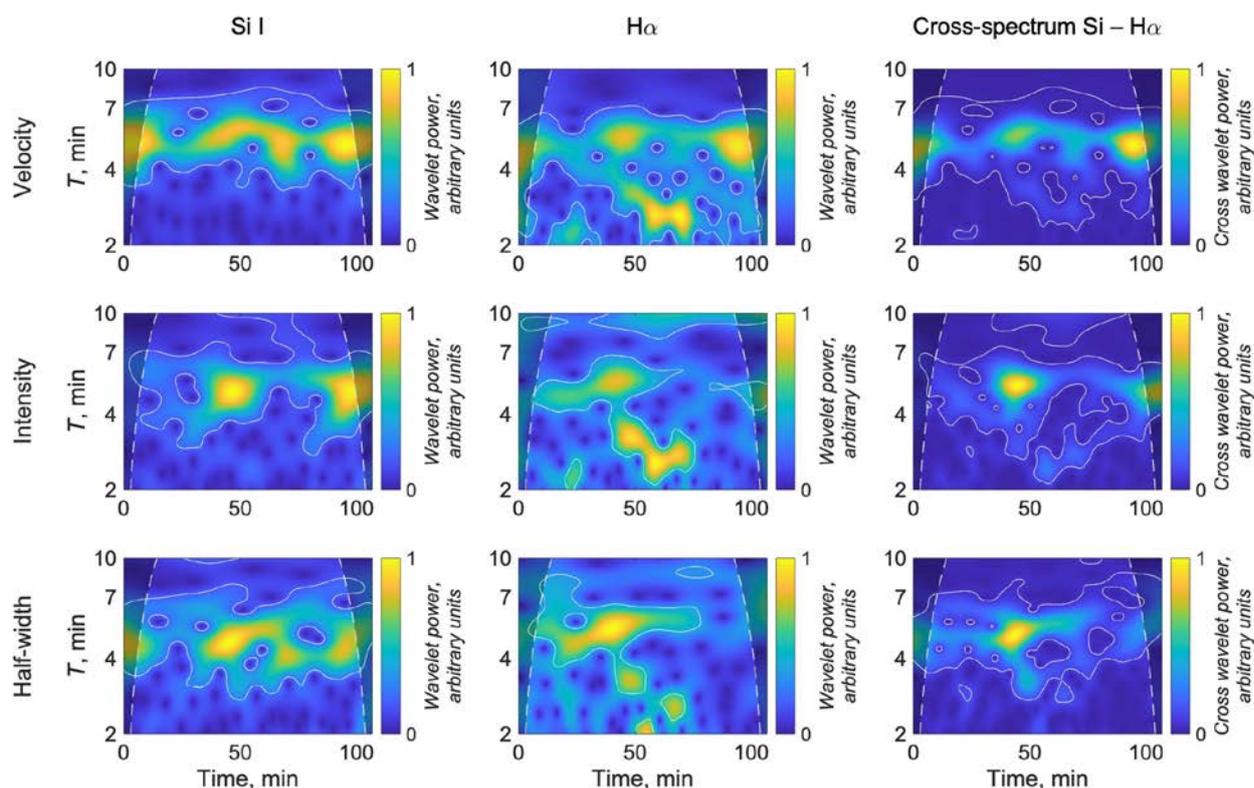


Рис. 2.1.2.2.1. Примеры вейвлет-спектров в различных спектральных линиях в корональной дыре для сигналов, зарегистрированных 22 сентября 2020 г.

Публикация:

Chelpanov A.A., Kobanov N.I., Chelpanov M.A., Kiselev A.V. Propagating oscillations in the lower atmosphere under coronal holes // *Solar Phys.* 2021. Vol. 296, article number 179. DOI: 10.1007/s11207-021-01909-y.

2.1.2.3. Морфология временных профилей солнечных вспышек

Проект «Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца». Руководители — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов и д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов. Автор результата — к.ф.-м.н. Л.К. Кашапова¹, А.-М. Broomhall², А.И. Larionova³, Е.Г. Kupriyanova³, I.D. Motyk⁴.

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — Университет Уорика, Великобритания

3 — ГАО РАН

4 — ИГУ, Иркутск, Россия

На основе наблюдений 102 солнечных вспышек в УФ-диапазоне (с помощью спутника SDO) был получен усредненный временной профиль типичной солнечной вспышки (рис. 2.1.2.3.1). Показано, что на фазе спада профиль лучше всего описывается комбинацией двух участков с экспоненциальным затуханием. Сравнение полученного временного профиля с аналогичным усредненным профилем вспышек на красных карликах показало, что звездные вспышки характеризуются более быстрым затуханием оптического излучения; по всей видимости, оптическое излучение вспышек на других звездах возникает в областях с более плотной плазмой, чем при солнечных вспышках.

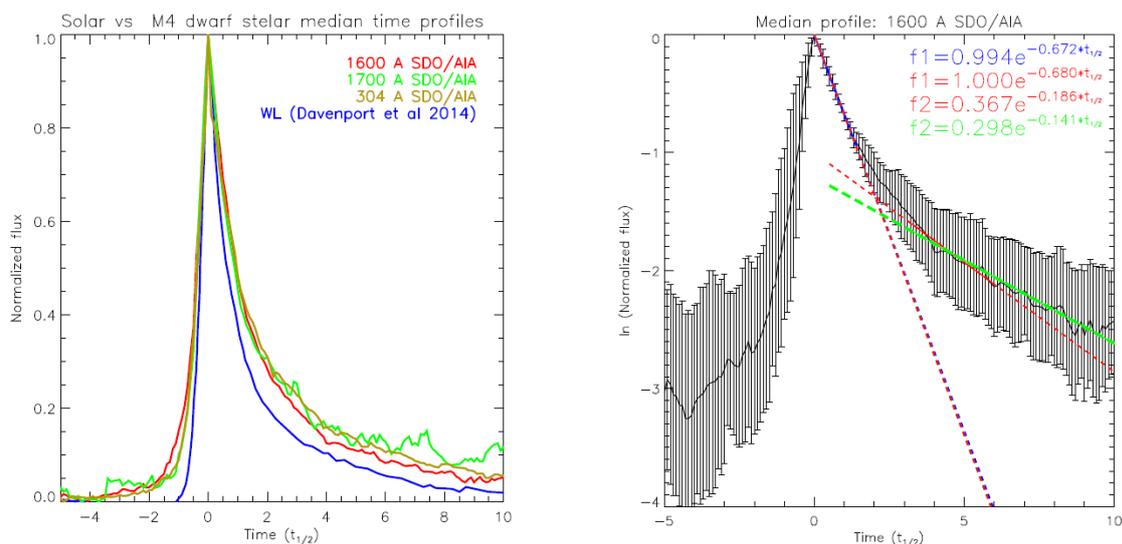


Рис. 2.1.2.3.1. Слева: сравнение усредненных временных профилей вспышек на Солнце (в различных спектральных линиях в УФ-диапазоне) и на красном карлике (в белом свете). Справа: усредненный временной профиль солнечной вспышки (в УФ-канале 1600 Å) и результаты его аппроксимации различными модельными функциями

Публикация:

Kasharova L.K., Broomhall A.-M., Larionova A.I., Kupriyanova E.G., Motyk I.D. The morphology of average solar flare time profiles from observations of the Sun's lower atmosphere // *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 2021. Vol. 502, iss. 3. P. 3922–3931. DOI: 10.1093/mnras/stab276.

2.1.3. Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства

2.1.3.1. Поиск колебаний солнечного типа у звезд на стадии до главной последовательности. Можно ли найти молодые Солнца?

Проект «Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства». Руководитель — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич. Авторы результата – И.С. Потравнов¹, М. Müllner², К. Zwintz², Т. Steindl², Е. Corsaro³, Е. W. Guenther⁴, А. Князев^{5,6,7}, В. Гварамадзе^{7,8}.

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — *Institut für Astro- und Teilchenphysik, Universität Innsbruck, Austria*

3 — *INAF, Osservatorio Astrofisico di Catania, Italy*

4 — *Thüringer Landessternwarte Tautenburg, Germany*

5 — *South African Astronomical Observatory*

6 — *Southern African Large Telescope Foundation*

7 — ГАИШ

8 — ИКИ РАН

Исследование выполнено в соавторстве с коллегами из Университета Инсбрука. В рамках работы был разработан и прокалиброван программный пакет APOLLO для поиска колебаний солнечного типа по фотометрическим данным. В результате применения метода к молодым звездам типа Т Тельца, наблюдавшимся в ходе миссии Kepler K2, обнаружено несколько кандидатов в звезды с колебаниями солнечного типа (акустической р-модой). Для одного из кандидатов — звезды EPIC 205375290 — на основе спектров высокого разрешения определены параметры атмосферы, оказавшиеся в достаточном согласии с предсказанием астросейсмологических моделей. Полученный результат показывает перспективность применения пакета APOLLO для частотного анализа больших объемов данных космических миссий, а также имеет важное значение для изучения масштабирующих факторов в астросейсмологических моделях звезд до главной последовательности.

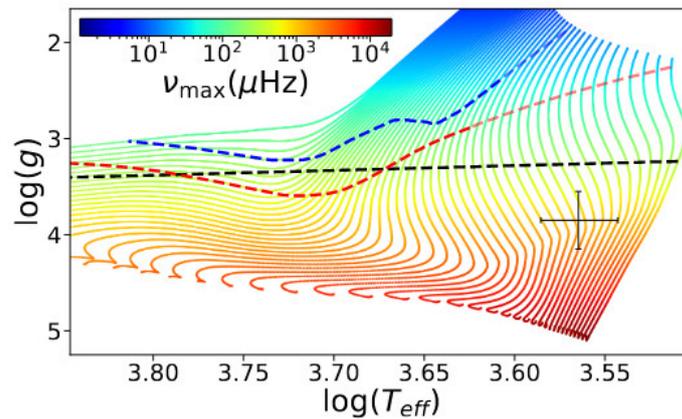


Рис. 2.1.3.1.1. Диаграмма $\log(T)$ – $\log(g)$ с частотами максимума колебаний, закодированными цветом. Положение объекта EPIC 205375290 со спектроскопически определенными параметрами отмечено крестом

Публикация:

Mullner M., Zwintz K., Corsaro E., Steindl T., Potravnov I., et al. Searching for solar-like oscillations in pre-main sequence stars using APOLLO. Can we find the young Sun? // *Astron. Astrophys.* 2021. Vol. 647, A168. DOI: 10.1051/0004-6361/202039578.

2.1.3.2. Спектроскопические измерения красных смещений скоплений галактик из обзора обсерватории им. Планка и наблюдения этих скоплений в обзоре SRG/eROZITA

Проект «Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства». Руководитель — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич. Авторы результата – М.В. Еселевич¹, И.А. Зазнобин², Р.А. Буренин², Г.А. Хорунжев², А.Р. Ляпин², Н.С. Лыскова², П.С. Медведев², И.Ф. Бикмаев^{3,4}, И.М. Хамитов^{3,5}, М.Р. Гильфанов^{2,6}, Р.А. Сюняев^{2,6}.

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — ИКИ РАН

3 — КФУ, Казань, Россия

4 — Академия наук Татарстана

5 — Государственная обсерватория ТЮБИТАК, Турция

6 — Институт астрофизики общества им. Макса Планка, Германия

В работе представлены результаты спектроскопических измерений красных смещений скоплений галактик (рис. 2.1.3.2.1), обнаруженных ранее по данным обзоров всего неба обсерватории им. Планка и обсерватории Вайза, а также Слоановского цифрового небесного обзора. Измерения красных смещений получены для 23 скоплений, в том числе для четырех скоплений галактик из второго каталога источников Сюняева — Зельдовича обзора обсерватории им. Планка. Основные спектроскопические наблюдения проводились в 2019 г. — в начале 2020 г. на 1.6-м телескопе АЗТ-33ИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН и 1.5-м Российско-Турецком телескопе (РТТ-150). Некоторые данные были получены ранее на 3.5-м телескопе обсерватории Калар-Альто. Из 23 скоплений данной выборки 14 объектов расположены на половине неба, где права на данные обзора неба телескопа eROZITA на борту орбитальной рентгеновской обсерватории SRG принадлежат российской стороне. Все эти скопления были обнаружены при помощи телескопа eROZITA в ходе обзора неба в 2020 г.

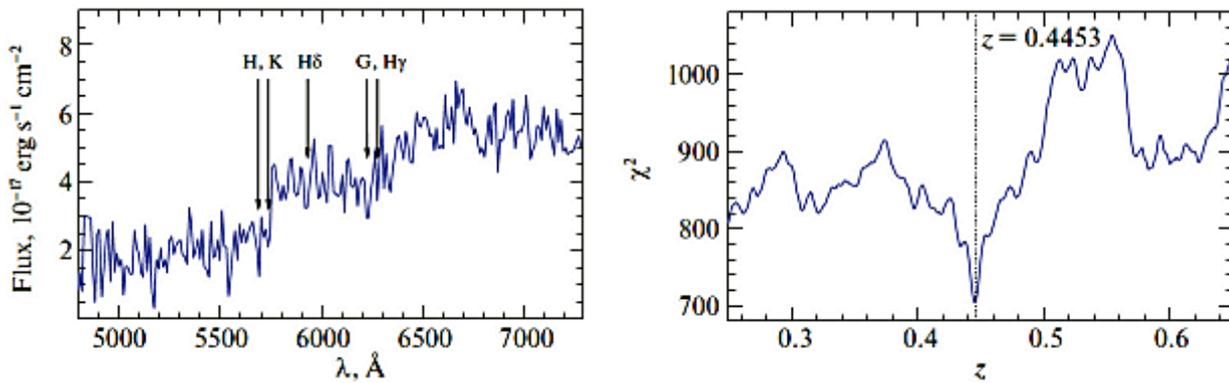


Рис. 2.1.3.2.1. Пример спектроскопического определения красного смещения для скопления галактик с координатами 1041 + 3256: слева — спектр самой яркой галактики скопления, полученный на телескопе АЗТ-33ИК; справа — значение χ^2 , полученное при сравнении измеренного спектра с шаблонным спектром эллиптической галактики

Публикация:

Zaznobin I.A., Burenin R.A., Bikmaev I.F., Khamitov I.M., Khorunzhev G.A., Lyapin A.R., Eselevich M.V., Lyskova N.S., Medvedev P.S., Gilfanov M.R., Sunyaev R.A. Spectroscopic redshift measurements for galaxy clusters from the Planck survey and observations of these clusters in the SRG/eROSITA survey // *Astron. Lett.* 2021. Vol. 47, iss. 2. P. 61–70. DOI: 10.1134/S1063773721020055.

2.1.3.3. Оптическое отождествление кандидатов в активные ядра галактик, обнаруженных телескопом АРТ-ХС им. М.Н. Павлинского обсерватории СРГ в ходе рентгеновского обзора всего неба

Проект «Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства». Руководитель — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич. Авторы результата – М.В. Еселевич¹, И.А. Зазнобин², Г.С. Усков², С.Ю. Сазонов², Р.А. Буренин², П.С. Медведев², Г.А. Хорунжев², А.Р. Ляпин², Р.А. Кривонос², Е.В. Филиппова², М.Р. Гильфанов^{2,3}, Р.А. Сюняев^{2,3}, И.Ф. Бикмаев^{4,5}, Е.Н. Иртуганов⁴, Е.А. Николаева⁴.

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — ИКИ РАН

3 — Институт астрофизики общества им. Макса Планка, Германия

4 — КФУ, Казань, Россия

5 — Академия наук Татарстана

Представлены результаты отождествления восьми объектов из предварительного каталога рентгеновских источников, зарегистрированных в диапазоне энергий 4–12 кэВ телескопом АРТ-ХС им. М.Н. Павлинского обсерватории СРГ в ходе первого обзора всего неба. Из них три открыты телескопом АРТ-ХС, а пять ранее были известны как рентгеновские источники, но их природа оставалась не установленной. Последние пять источников были зарегистрированы также в мягких рентгеновских лучах телескопом eROSITA обсерватории СРГ. Оптические наблюдения проводились на 1.6-м телескопе АЗТ-33ИК Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН и 1.5-м Российско-турецком телескопе (РТТ-150). Все исследованные объекты оказались активными ядрами галактик (АЯГ) на красных смещениях от 0.019 до 0.283. Все три АЯГ, открытые телескопом АРТ-ХС (которые не регистрируются телескопом eROSITA), характеризуются большим поглощением на луче зрения.

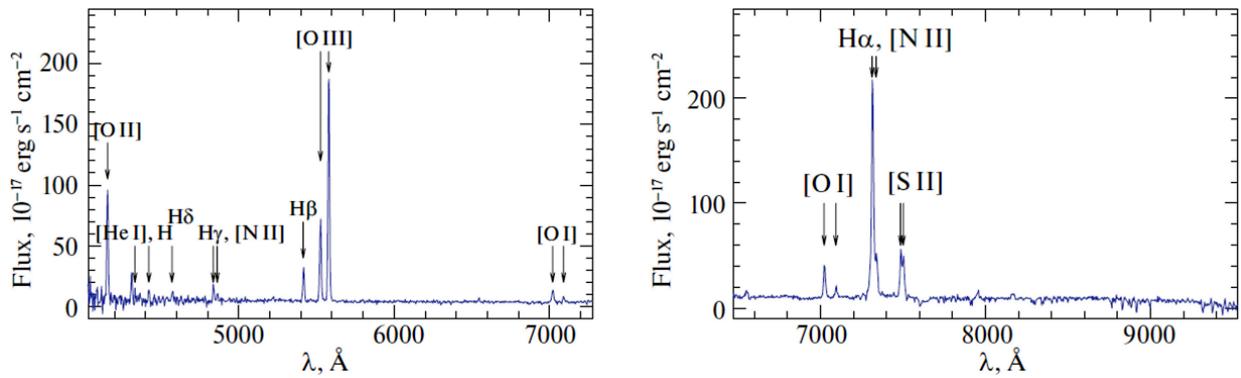


Рис. 2.1.3.3.1. Спектры в двух диапазонах, полученные на телескопе АЗТ-33ИК, для рентгеновского источника SRGA J152102.3+320418. Объект был классифицирован как сейфертовская галактика второго типа; красное смещение галактики, определенное по 14 линиям, составило $z = 0.114$

Публикация:

Zaznobin I.A., Uskov G.S., Sazonov S.Yu., Burenin R.A., Medvedev P.S., Khorunzhev G.A., Lyapin A.R., Krivosos R.A., Filippova E.V., Gilfanov M.R., Sunyaev R.A., Eselevich M.V., Bikmaev I.F., Irtuganov E.N., Nikolaeva E.A. Optical identification of candidates for active galactic nuclei detected by the Mikhail Pavlinsky ART-XC Telescope onboard the SRG Observatory during an all-sky X-ray survey // *Astron. Lett.* 2021. Vol. 47, iss. 2. P. 71–87. DOI: 10.1134/S1063773721020067.

2.1.4. Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей

2.1.4.1. Наземное возрастание интенсивности космических лучей на фазе спада 24-го солнечного цикла: спектры и анизотропия

Проект «Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей». Руководитель — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.В. Кравцова, к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов

По данным наземных измерений космических лучей (КЛ) на мировой сети станций исследовано наземное повышение интенсивности КЛ 10 сентября 2017 г. (GLE72), которое произошло на фазе восстановления форбуш-понижения, начавшегося после геомагнитной бури 7 сентября 2017 г. Получены дифференциальные жесткостные спектры и спектры вариаций КЛ в период этого события (рис. 2.1.4.1.1).

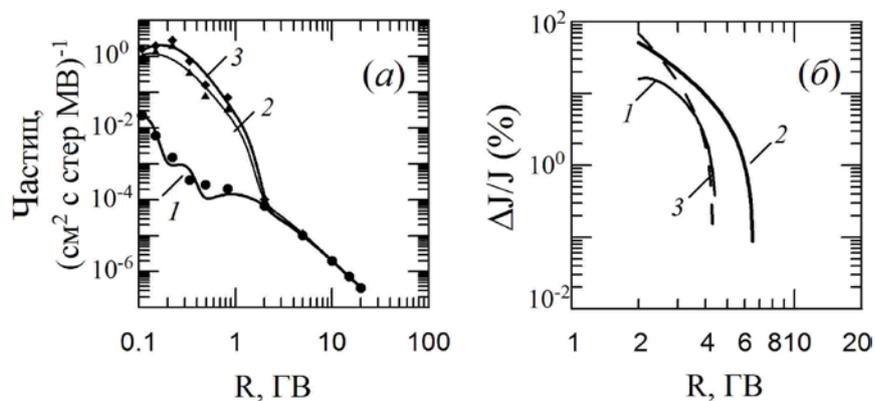


Рис. 2.1.4.1.1. Дифференциальные жесткостные спектры КЛ: кривые — результаты расчетов; значки — данные наблюдений (а); жесткостные спектры вариаций КЛ в отдельные моменты времени развития GLE72: 1 — 16:00 UT, 2 — 18:00 UT, 3 — 20:00 UT (б)

Выводы:

1. Ускорение протонов в период GLE72 наблюдалось до жесткости ~ 7 ГВ.
2. Спектры КЛ в период GLE72 в широком диапазоне не описываются ни степенной, ни экспоненциальной функцией от жесткости частиц.
3. По мере развития GLE спектры становятся более жесткими, показатель спектра γ изменяется от 10 до 4.
4. В распределении КЛ по направлениям прихода к Земле во время GLE (18:00 UT) присутствует вторая гармоника пичч-углового распределения КЛ, появление которой свидетельствует о том, что в это время Земля находилась внутри KBM с петлеобразной структурой ММП.

Публикация:

Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. Наземное возрастание интенсивности космических лучей на фазе спада 24 солнечного цикла: спектры и анизотропия // Изв. РАН. Сер. физ. 2021. Т. 85, № 8. С. 1194–1197. DOI: 10.31857/S0367676521080147.

2.1.4.2. Зависимость геомагнитных порогов космических лучей от параметров гелио-и геомагнитосферы во время бури 7–8 сентября 2017 г.

Проект «Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей». Руководитель — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.А. Данилова¹, к.ф.-м.н. Н.Г. Птицына¹, д.ф.-м.н. М.И. Тясто¹, к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов²

1 — СПбФ ИЗМИРАН, Санкт-Петербург, Россия

2 — ИСЗФ СО РАН

По модели магнитосферы Земли Ts01и по данным наземных наблюдений интенсивности космических лучей на мировой сети станций определены геомагнитные пороги в период сильного возмущения межпланетной среды и магнитосферы 7–8 сентября 2017 г. Проведен анализ зависимости их изменений от параметров межпланетной среды и геомагнитосферы.

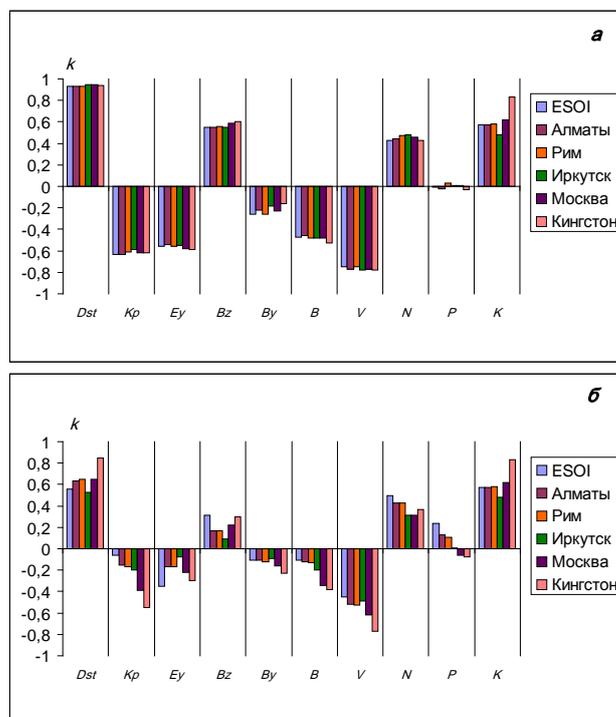


Рис. 2.1.4.2.1. Корреляции изменений геомагнитных порогов (*а* — $\Delta R_{эф}$; *б* — $\Delta R_{сгс}$) с геоэффективными параметрами гелиосферы и геомагнитного поля, а также коэффициент корреляции k между $\Delta R_{сгс}$ и $\Delta R_{эф}$ (последняя колонка)

Выводы:

Максимальное понижение порогов в этот период составило ≈ 0.7 ГВ на высокоширотных станциях. При этом максимум понижения $\Delta R_{\text{эф}}$ фиксировался во время максимума бури (минимум Dst) для всех станций, а для $\Delta R_{\text{сгс}}$ время максимума зависит от широты: оно смещается в фазу восстановления для низкоширотных станций ESOI, Алматы и Рим.

Наиболее геоэффективными параметрами являются Dst и скорость солнечного ветра V ; влияние B_z заметно только для $\Delta R_{\text{эф}}$. Контроль $\Delta R_{\text{сгс}}$ геомагнитными индексами и параметрами солнечного ветра существенным образом зависит от широты станции, в то время как в $\Delta R_{\text{эф}}$ этот широтный эффект практически не заметен.

По-видимому, модель Ts01, которая опирается на описание магнитосферных токовых систем, основанных на статистических данных о нескольких десятках сильных бурь, может недостаточно хорошо отражать пространственную конфигурацию возмущенной магнитосферы для индивидуальных событий, по крайней мере для бури 7–8 сентября 2017 г.: она переоценивает вклад B_z и не отражает широтный эффект.

Публикация:

Ptitsyna N.G., Danilova O.A., Tyasto M.I., Sdobnov V.E. Dynamics of cosmic-ray cutoff rigidity and magnetospheric parameters during different phases of the storm of November 20, 2003 // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2021. Vol. 61, no. 2. P. 169–179. DOI: 10.1134/S0016793221010114.

2.1.4.3. Об ускорении частиц в постоянном магнитном поле и перпендикулярном ему электрическом поле, нарастающем во времени

Проект «Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей». Руководитель — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов. Автор результата — д.ф.-м.н. Г.Н. Кичигин[†].

Найдено приближенное аналитическое решение релятивистского уравнения движения частиц в пространственно-однородном электромагнитном поле, структура которого определяется стационарным магнитным полем B и строго перпендикулярным ему электрическим полем, линейно нарастающим во времени от нулевого значения до максимальной величины $E_m=B$. Решение представлено достаточно простыми формулами, которые определяют зависимость скорости частицы от времени ускорения. Показано, что за все время нарастания электрического поля до величины B частицы ускоряются до некоторой конечной энергии, величина которой определяется параметром ε ($\varepsilon=T_c/(2\pi T)$, где T_c — циклотронный период; T — время, за которое электрическое поле растет от нулевой отметки до величины B), связанным с темпом нарастания электрического поля, причем чем меньше этот темп, тем больше предельная энергия.

Для принятого в работе диапазона изменения параметра ε ($10^{-2} > \varepsilon > 10^{-7}$) установлено, что, если $E_m/B < 0.9$, динамика релятивистских частиц определяется соотношениями, полученными из решений уравнения движения методом, предложенным Альфвеном. В этом случае предельная кинетическая энергия $K_m = mc^2 \left[\left(1 - E_m^2/B^2 \right)^{-1/2} - 1 \right]$.

Полученные результаты важны для понимания динамики заряженных частиц при их движении в электромагнитных полях и представляют общефизический интерес, а формулы можно использовать для определения энергии частиц в различных импульсных процессах в космической плазме, протекающих в электромагнитном поле с электрическим полем, линейно нарастающим во времени от нулевого значения до максимальной величины $E_m=B$ и строго перпендикулярным стационарному магнитному полю B .

Публикация:

Кичигин Г.Н. Об ускорении частиц в постоянном магнитном поле и перпендикулярном ему электрическом поле, нарастающем во времени // *Солнечно-земная физика*. 2021. Т. 7, № 2. С. 24–29. DOI: 10.12737/szf-72202103.

2.1.4.4. Оценка возможного развития высокоэнергичного гамма-излучения вспышек в 23-м цикле на основе использования характеристик солнечных вспышек в 24-м цикле активности

Проект «Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей». Руководитель — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов. Авторы результата — к.ф.-м.н. Г.С. Минасянц¹, к.ф.-м.н. Т.М. Минасянц¹, к.ф.-м.н. В.М. Томозов².

1 — *Астрофизический институт им. Фесенкова, Алматы, Казахстан*

2 — *ИСЗФ СО РАН*

По данным регулярных наблюдений на космических аппаратах FERMI/LAT, GOES и SOHO исследованы физические и структурные особенности вспышечных событий 24-го цикла активности (2011–2017 гг.), которые были источниками длительных потоков гамма-излучения с энергиями фотонов > 100 МэВ. Показано, что солнечные события с наиболее мощными и продолжительными потоками гамма-излучения с энергиями > 100 МэВ связаны с наземными возрастаниями интенсивности космических лучей (GLE) и вспышками рентгеновских классов $> X1.7$, которые обычно сопровождаются корональными выбросами массы со скоростью $V > 1200$ км/с. Результаты анализа продемонстрировали более высокую вспышечную активность в 23-м цикле по сравнению с 24-м циклом.

По данным наблюдений потоков протонов на КА GOES и потоков гамма-излучения на КА FERMI/LAT в 2010–2018 гг. в 24-м цикле активности Солнца выполнено сопоставление характеристик потоков протонов с энергиями > 500 МэВ и потоков гамма-излучения > 100 МэВ от вспышек с продолжительным гамма-излучением. Показано, что рассмотренные вспышечные события по своим характеристикам относятся к разным типам: тип 1 — эволюция потока гамма-излучения сопровождается потоками энергичных протонов; тип 2 — развитие гамма-излучения происходит при отсутствии возрастных потоков протонов, по-видимому, вследствие того, что вспышка является ограниченной; тип 3 — при наблюдаемых возрастаниях потоков энергичных протонов отсутствует поток гамма-квантов. События типа 1, несомненно, связаны с гамма-вспышками. Эти события происходят в интервале долгот на Солнце, наиболее благоприятном для прохождения потоков частиц к Земле. По-видимому, к типу 2 относятся ограниченные вспышки, при которых не происходит разрушения всей магнитной структуры, наблюдается выброс только отдельных магнитных петель, поэтому выход протонов затруднен. Наконец, события типа 3, похоже, вообще не связаны с гамма-вспышками.

Публикация:

Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Оценка возможного развития высокоэнергичного гамма-излучения вспышек в 23 цикле на основе использования характеристик солнечных вспышек в 24 цикле активности // *News of the Nat. Acad. Sci. Republic of the Kazakhstan, Phys. Mat. Ser.* 2021. Vol. 3, no. 337. P. 85–95. DOI: 10.32014/2020.2518-1726.50.

2.1.4.5. Наблюдение космических лучей на станциях ИСЗФ СО РАН

Проект «Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей». Руководитель — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов. Авторы результата — к.ф.-м.н. Ю.В. Балабин¹, к.ф.-м.н. А.А. Луковникова², к.ф.-м.н. Б.Б. Гвоздевский¹, А.В. Германенко¹, Е.А. Михалко¹, И.В. Янковский³.

1 — *ПГИ, Апатиты, Россия*

2 — *ИСЗФ СО РАН*

3 — *КБГУ, Нальчик, Россия*

На трех станциях космических лучей Саянского спектрографа, а также на станции Норильск проводятся измерения интенсивности космических лучей.

Данные наблюдений космических лучей и атмосферного давления с минутным и часовым интервалами накоплений представляются on-line на сайте 84.237.21.4 в виде графиков и текстовых файлов, хранятся на ftp-сервере и в базе данных в ИСЗФ СО РАН, обновляются в международной базе данных nmdb.eu, а также представляются в Мировой центр данных по солнечно-земной физике (МЦД по СЗФ). На станции космических лучей, расположенной на высоте 3000 м, совместно с Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Полярный геофизический институт» (Апатиты, Россия) проводится мониторинг гамма-излучения в энергетическом диапазоне 20–400 КэВ.

Для обеспечения в режиме реального времени стабильной работы станций космических лучей проводились профилактические работы, произведена замена неисправного оборудования.

Публикации данных наблюдений:

<http://cgm.iszf.irk.ru/>

<http://www.nmdb.eu>

<http://center.stelab.nagoya-u.ac.jp/WDCCR>

Публикация:

Балабин Ю.В., Луковникова А.А., Гвоздевский Б.Б., Германенко А.В., Михалко Е.А., Янковский И.В. Исследование событий множественности на высокогорном нейтронном мониторе // Изв. РАН. Сер. физ. 2021. Т. 85, № 5. С. 757–760. DOI: 10.31857/S0367676521030042.

2.2. Исследования в области физики околоземного космического пространства

2.2.1. Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн

2.2.1.1. Программный комплекс для восстановления нейтрального ветра в D- и E-областях ионосферы по наблюдениям метеорного рассеяния на декаметровых радарх

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт, Р.Р. Федоров

На основе данных радара когерентного рассеяния ЕКВ ИСЗФ СО РАН декаметрового (8–20 МГц) диапазона реализован программный комплекс для выделения рассеяния на метеорных следах и восстановления по этим данным вектора нейтрального ветра на высотах D- и E-слоев ионосферы в секторе обзора радара на дальностях до 500 км. Методика основана на методах, разработанных ранее для метеорных радаров, и включает в себя анализ формы рассеянного сигнала (квадратурных компонент) (рис. 2.2.1.1.1). Расчет полного вектора нейтрального ветра проводится в предположении его однородности по широте и долготе. Высотная зависимость учитывается привязкой метеорных следов по высоте (в диапазоне 60–100 км) с использованием информации о времени жизни, полученной из экспериментальных наблюдений за каждым отдельным метеором. Для улучшения точности в анализе используются только метеоры, хорошо укладывающиеся в модель underdense-рассеяния. Разработанные алгоритмы и данные, получаемые с помощью программного комплекса, используются в настоящее время при ручной и автоматической обработке данных двух радаров ИСЗФ СО РАН, расположенных в Свердловской (ЕКВ) и Магаданской (MAGW) областях, при калибровке этих радаров в угломестной плоскости и при исследовании нейтрально-ионосферного взаимодействия в области порядка 500 км вокруг радаров.

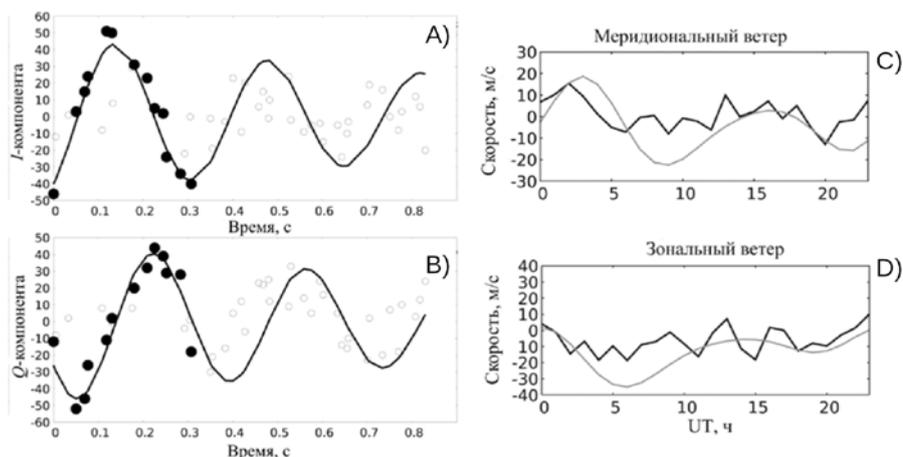


Рис. 2.2.1.1.1. Фитирование модельной формы сигнала, рассеянного на метеорном следе, по экспериментальным наблюдениям квадратурных компонент рассеянного сигнала (A, B): точки — экспериментальный принятый сигнал; окружности — шумовые измерения. Сравнение меридионального и зонального ветров по измерениям на радаре с прогнозными значениями, полученным из модели нейтрального ветра HWM-14 (C, D): черные линии — эксперимент; серые линии — модель HWM-14

Публикация:

Fedorov R.R., Berngardt O.I. Monitoring observations of meteor echo at the EKB ISTP SB RAS radar: algorithms, validation, statistics // Solar-Terr. Phys. 2021. Vol. 7, № 1. P. 47–58. DOI: 10.12737/stp-71202107.

2.2.1.2. Методика калибровки радаров ИСЗФ СО РАН по наблюдениям за рассеянием на метеорных следах

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт¹, к.ф.-м.н. К.В. Гркович¹, Р.Р. Федоров¹, Ph.D. P. Ponomarenko².

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — University of Saskatchewan (USask), Canada

На основе данных радара когерентного рассеяния ЕКВ ИСЗФ СО РАН декаметрового диапазона (8–20 МГц) реализована методика калибровки угломестных наблюдений на радаре по рассеянию на метеорных следах. По времени жизни рассеянного сигнала в рамках диффузионной модели динамики метеорного следа проводится измерение высоты рассеяния, необходимое для калибровки экспериментальных наблюдений. Большое количество таких сигналов позволяет строить методику калибровки данных как по историческим данным, так и в автоматическом режиме реального времени. Для отбраковки зашумленных данных используются статистический и корреляционный анализы данных. Основу калибровки составляет поиск коэффициента линейной регрессии, связывающей ожидаемую из геометрических соображений фазу принятого сигнала с учетом высоты рассеивающего метеорного следа с фазой, экспериментально измеренной для каждого конкретного метеора. Повышение точности угломестных наблюдений является важным для радаров когерентного рассеяния как ИСЗФ СО РАН, так и международной сети SuperDARN и позволяет проводить более уверенную интерпретацию различных типов рассеянного сигнала на основе экспериментальных наблюдений (рис. 2.2.1.2.1). Разработанная методика калибровки в настоящее время применяется при обработке данных двух радаров ИСЗФ СО РАН, расположенных в Свердловской (ЕКВ ИСЗФ СО РАН) и Магаданской (MAGW ИСЗФ СО РАН) областях.

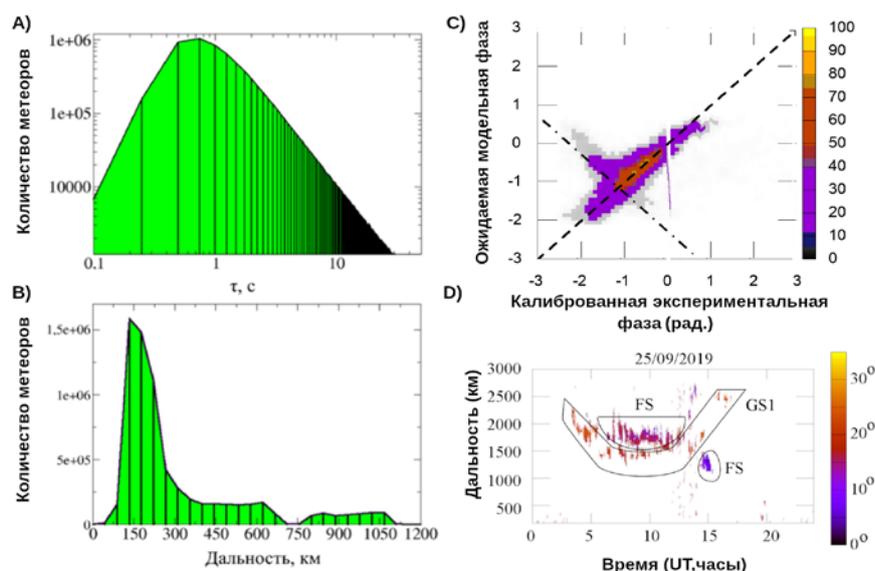


Рис. 2.2.1.2.1. Распределения метеорных следов по времени жизни (A) и по дальности (B) и фаз рассеянных сигналов на дальностях до 500 км (C), ожидаемых из модельных соображений и экспериментально измеренных после калибровки. Пример интерпретации рассеянных сигналов на радаре ЕКВ ИСЗФ СО РАН с использованием угломестной информации (D): FS — рассеяние в F-слое; GS — рассеяние земной поверхностью

Публикация:

Berngardt O.I., Fedorov R.R., Ponomarenko P., Grkovich K.V., Interferometric calibration and the first elevation observations at EKB ISTP SB RAS radar at 10–12 MHz // Polar Sci. 2021. Vol. 28, 100628. DOI: 10.1016/j.polar.2020.100628.

2.2.1.3. Оценка влияния стратосферной активности на ионосферную волновую активность с периодами внутренних гравитационных волн

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.В. Толстикова, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский, к.ф.-м.н. И.В. Медведева, к.ф.-м.н. Д.С. Хабитуев

Проведено комплексное исследование проявлений волновой активности с периодами внутренних гравитационных волн (ВГВ) в различных областях атмосферы с целью оценки влияния волновой активности в стратосфере на волновую активность на ионосферных высотах. Для анализа использованы данные радиофизических и спектрометрических измерений на комплексе инструментов ИСЗФ СО РАН и данные реанализа ERA-Interim. Корреляционный анализ показал, что коэффициент сдвиговой корреляции между ионосферной и стратосферной активностью для годового интервала варьирует в диапазоне от 0.45 до 0.54, а для 27-дневного интервала достигает уровней 0.4–0.8 в 70 % случаев (рис. 2.2.1.3.1). Тридцать процентов коэффициентов сдвиговой корреляции, меньших 0.4, можно объяснить влиянием вариаций нейтрального ветра и геомагнитной активности, а также нестратосферными источниками ВГВ. Оптимальный временной сдвиг варьирует в широком диапазоне от 1 до 30 дней. Запаздывание ионосферной активности относительно стратосферной активности может объясняться тем, что стратосферная активность определяется максимумом планетарной волны для стратопauses (~50 км), тогда как на ионосферную активность наиболее сильное влияние оказывают возмущения на высотах мезопauses (~90 км). В этом случае временной сдвиг определяется запаздыванием фазы планетарной волны в районе мезопauses относительно фазы планетарной волны в стратосфере.

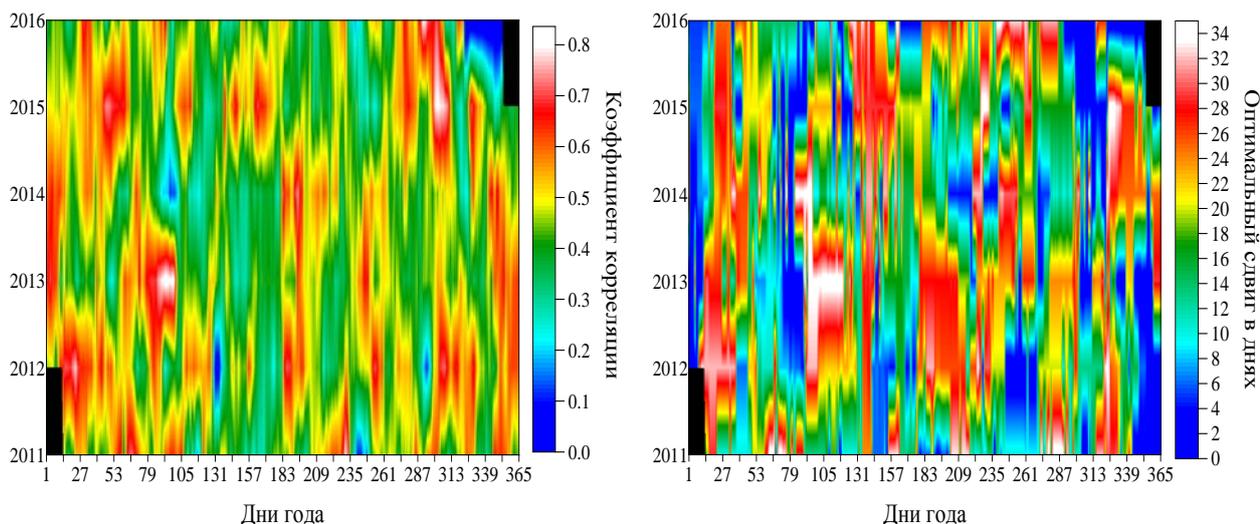


Рис. 2.2.1.3.1. Коэффициент сдвиговой корреляции (слева) и оптимальный сдвиг в днях (справа) как функции года (вертикальная ось) и дня года (горизонтальная ось) для 27-дневных интервалов

Публикация:

Толстикова М.В., Ратовский К.Г., Медведева И.В., Хабитуев Д.С. Оценка влияния стратосферной активности на ионосферу по данным измерений на комплексе инструментов ИСЗФ СО РАН // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 4. С. 84–90. DOI: 10.12737/szf-74202108.

2.2.1.4. Экспериментальная оценка воздействия нагрева ионосферы мощным коротковолновым излучением на GPS-позиционирование

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич¹, С.В. Сыроватский², к.ф.-м.н. А.М. Падохин², д.ф.-м.н. В.Л. Фролов³, А.М. Веснин¹, Д.А. Затолокин¹, Г.А. Курбатов², к.ф.-м.н. Р.В. Загретдинов⁴, А.В. Першин³, к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич¹.

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — МГУ, Москва, Россия

3 — ННГУ, Нижний Новгород, Россия

4 — КФУ, Казань, Россия

Проведен анализ точности местоопределения с использованием системы GPS в условиях воздействия мощным коротковолновым излучением нагревного стенда СУРА в рамках двух измерительных кампаний 2010 и 2016 гг. Для работы использованы данные четырнадцати приемников GPS, расположенных непосредственно вблизи стенда и на различном удалении от него, начиная от десятков километров и заканчивая расстоянием более тысячи километров (рис. 2.2.1.4.1). Анализировалась точность местоопределения в режиме позиционирования высокой точности (Precise Point Positioning, PPP) и при стандартном итерационном решении навигационной задачи в одночастотном режиме. Нагрев осуществлялся в различных режимах (различная периодичность и мощность) в основном КВ-излучением с обыкновенной поляризацией (О-мода). Во время кампании 2010 г. нагрев ионосферы сопровождался генерацией интенсивных ионосферных возмущений. При этом во время кампании как 2010 г., так и 2016 г. не было выявлено эффектов воздействия КВ-излучения стенда СУРА на GPS-позиционирование. Таким образом, впервые экспериментально показано, что значимые эффекты КВ-нагрева отсутствуют и в одночастотном режиме, и в режиме высокой точности.

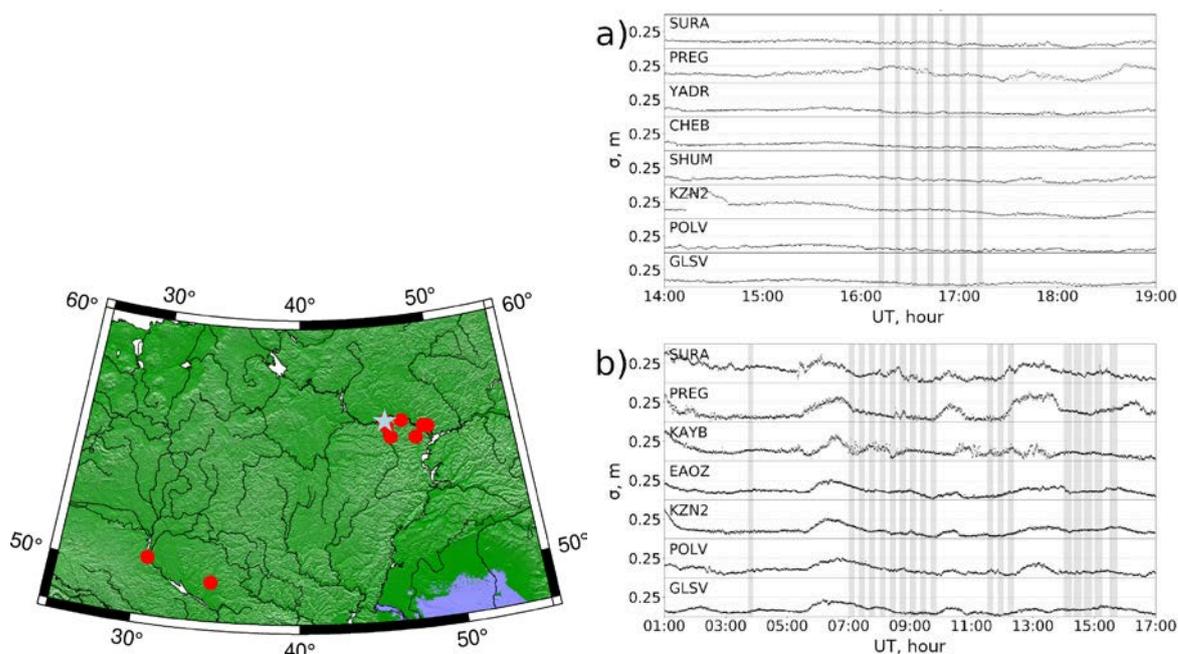


Рис. 2.2.1.4.1. Геометрия эксперимента (слева) и точность позиционирования в режиме высокой точности 19 (а) и 20 (б) сентября 2016 г.

Публикация:

Yasyukevich Yu.V., Syrovatskii S.V., Padokhin A.M., Frolov V.L., Vesnin A.M., Zatonolkin D.A., Kurbatov G.A., Zagretidinov R.V., Pershin A.V., Yasyukevich A.S. GPS positioning accuracy during the 2016 September and 2010 August campaigns at the SURA heater // 2021 XXXIVth General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS). 2021. P. 1–3. DOI: 10.23919/URSIGASS51995.2021.9560199.

2.2.1.5. Влияние 27-дневных вариаций солнечной активности на систему термосфера — ионосфера

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский¹, к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич¹, к.ф.-м.н. М.В. Клименко², к.ф.-м.н. В.В. Клименко².

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — КФ ИЗМИРАН, Калининград, Россия

Проведено исследование влияния 27-дневных вариаций солнечной активности, связанных с вращением Солнца вокруг своей оси, на систему термосфера — ионосфера на разных широтах и высотах с использованием результатов расчетов по модели ГСМ ТИП. С использованием сравнительного и корреляционного анализов выявлена задержка вариаций рассчитанных в модели дневных значений электронной концентрации N_e на разных высотах, в том числе в максимуме F2-слоя ионосферы (N_mF2), полного (ПЭС) и глобального (ГЭС) электронного содержания относительно изменений индекса солнечной активности $F10.7$. Модельные расчеты показали, что вариации ГЭС запаздывают на два дня относительно вариаций индекса $F10.7$. Такое запаздывание согласуется с результатами наблюдений. Общими закономерностями, наблюдающимися на всех станциях, являются отсутствие запаздывания вариаций N_e относительно $F10.7$ на высотах менее 180 км; появление запаздывания и увеличение максимальной задержки с увеличением высоты, достигающей максимального значения вблизи высоты максимума F2-слоя ионосферы; а затем ее уменьшение с высотой во внешней ионосфере до двух дней на высоких, субавроральных и средних широтах и до одного дня на низких широтах (рис. 2.1.1.5.1). Такая высотная структура задержки приводит к тому, что за-

держка изменений ПЭС относительно $F10.7$ всегда меньше, чем задержка изменений N_mF2 . На основе моделирования термосферных изменений обнаружено, что основной причиной задержки вариаций ионосферных характеристик относительно вариаций солнечного потока является изменение отношения концентраций атомарного кислорода и молекулярного азота, обусловленное изменением солнечного потока.

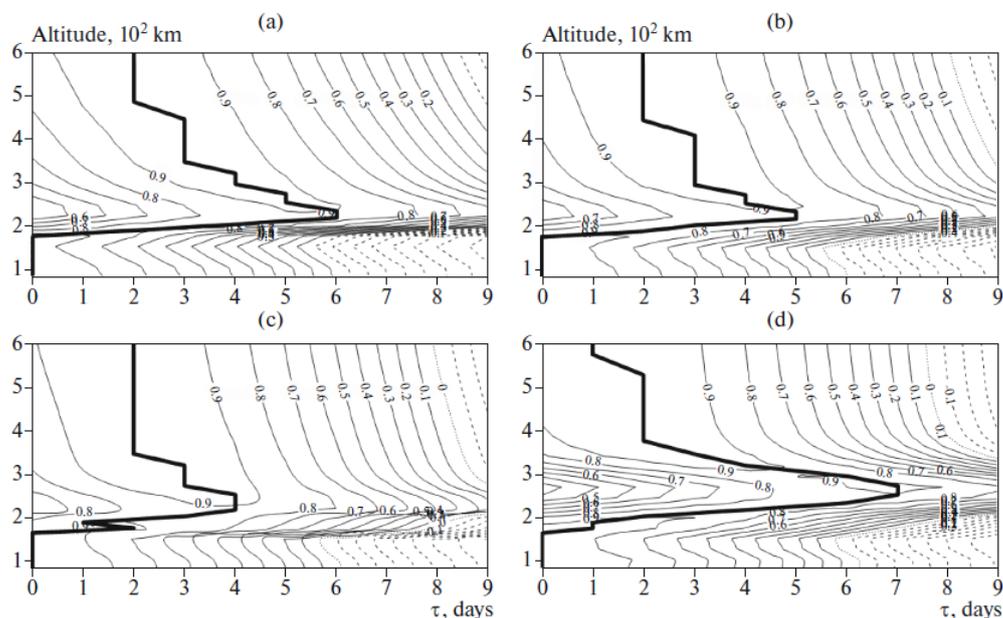


Рис. 2.2.1.5.1. Рассчитанные по модели ГСМ ТИП вертикальные профили кросс-корреляционных функций дневных значений электронной концентрации и значений индекса $F10.7$ на станциях Тромсё (а), Санкт-Петербург (b), Иркутск (c) и Хайнань (d)

Публикация:

Klimenko M.V., Klimenko V.V., Ratovsky K.G., Yasyukevich A.S. Delay in response of global electron content and electron concentration at various altitudes to 27-day variations in solar activity // Russian J. Phys. Chem. B. 2021. Vol. 15. P. 566–571. DOI: 10.1134/S1990793121030052.

2.2.1.6. Исследование волновой изменчивости критической частоты F2-слоя во время сильных внезапных стратосферных потеплений

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский¹, А.В. Тимченко², к.ф.-м.н. Ф.С. Бессараб², д.ф.-м.н. Ю.Н. Кореньков², к.ф.-м.н. Н.А. Коренькова², к.ф.-м.н. О.П. Борчевкина².

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — КФ ИЗМИРАН, Калининград, Россия

Проведено исследование волновой изменчивости критической частоты F2-слоя ионосферы над станциями Калининград и Иркутск во время сильных внезапных стратосферных потеплений (ВСП). Для всех выбранных случаев общим фактором являлась низкая солнечная активность. Результаты вейвлет-анализа временных вариаций f_oF2 показали, что во время большинства ВСП, произошедших с 1965 по 2009 г., происходило усиление колебаний с периодами 4–10 дней, тогда как амплитуда длиннопериодных (25–30-дневных) колебаний, напротив, уменьшалась (рис. 2.2.1.6.1). Несмотря на заметные различия в поведении спектральной энергии над Калининградом и Иркутском, были обнаружены общие закономерности. Во время ВСП над обеими станциями отчетливо проявляются тенденции усиления 4–10-дневных колебаний и ослабления спектральной энергии колеба-

ний с периодом 25–30 дней. Важно отметить, что изменение энергии 25–30-дневных колебаний происходит в противофазе с изменением 4–10-дневных. Аналогичный анализ, выполненный для зимы 1975–1976 гг., когда ВСП не было, показал, что амплитуды колебаний f_oF2 с периодами 25–30 дней очень стабильны и меняются незначительно. Амплитуды колебаний с периодом 4–10 дней малы и увеличиваются только к концу зимы одновременно с усилением 25–30-дневных колебаний.

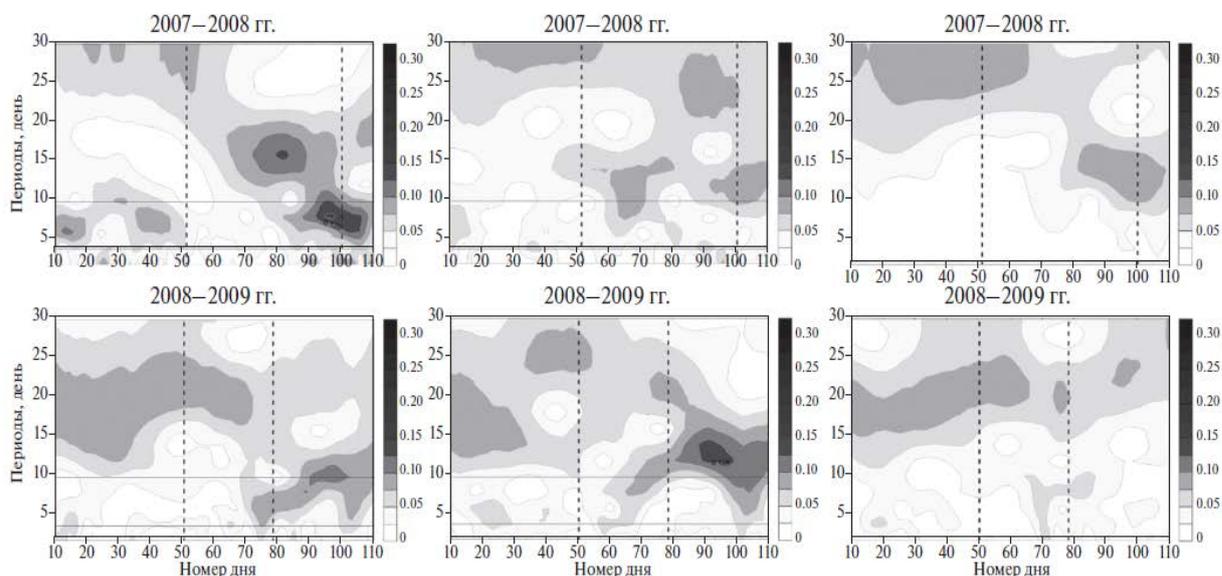


Рис. 2.2.1.6.1. Относительная спектральная энергия осцилляций критической частоты F2-слоя для станций Калининград (слева), Иркутск (в центре) и индекса солнечной активности F10.7 (справа)

Публикация:

Timchenko A.V., Bessarab F.S., Koren'kov Y.N. Koren'kova N.A., Borchevkina O.P., Rатовский K.G. Features of variations in the F2-layer critical frequency during the sudden stratospheric warnings of 1966–2009 according to data from Kaliningrad and Irkutsk stations // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2021. Vol. 61. P. 100–107. DOI: 10.1134/S0016793221010151.

2.2.1.7. Статистический анализ экстремальных ионосферных событий

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский¹, к.ф.-м.н. И.В. Медведева¹, к.ф.-м.н. А.В. Дмитриев².

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — National Central University, Taiwan

С использованием данных Иркутского ионозонда за 2003–2016 гг. осуществлен морфологический анализ экстремальных ионосферных возмущений, представляющих собой относительные возмущения максимума электронной концентрации с амплитудой, превышающей 150 %. Суточно-сезонное распределение показало, что наиболее вероятным периодом наблюдения экстремальных событий являются предрассветный и послезакатный периоды в декабре–январе (рис. 2.2.1.7.1). Межгодовое распределение числа экстремальных ночей не выявило связи с геомагнитной/солнечной активностью на основе среднегодовых значений индексов геомагнитной (A_p) и солнечной ($F10.7$) активности. Анализ показал, что внезапные стратосферные потепления не являются основным источником экстремальных ионосферных явлений и могут быть лишь дополнительным фактором, способствующим появлению сильных ионосферных возмущений. Анализ связи появления экстремальных ионосферных явлений с геомагнитной активностью показал, что из 25 ионосферных событий 18 могут быть связаны с бурями, генерированными корональными дырами (рекуррентными геомагнитными бурями),

б — с бурями, генерированными выбросами корональной массы, и 1 ионосферное событие не связано ни с одним типом геомагнитных бурь. Вариации числа экстремальных ионосферных явлений от зимы к зиме коррелируют с числом зимних рекуррентных геомагнитных бурь.

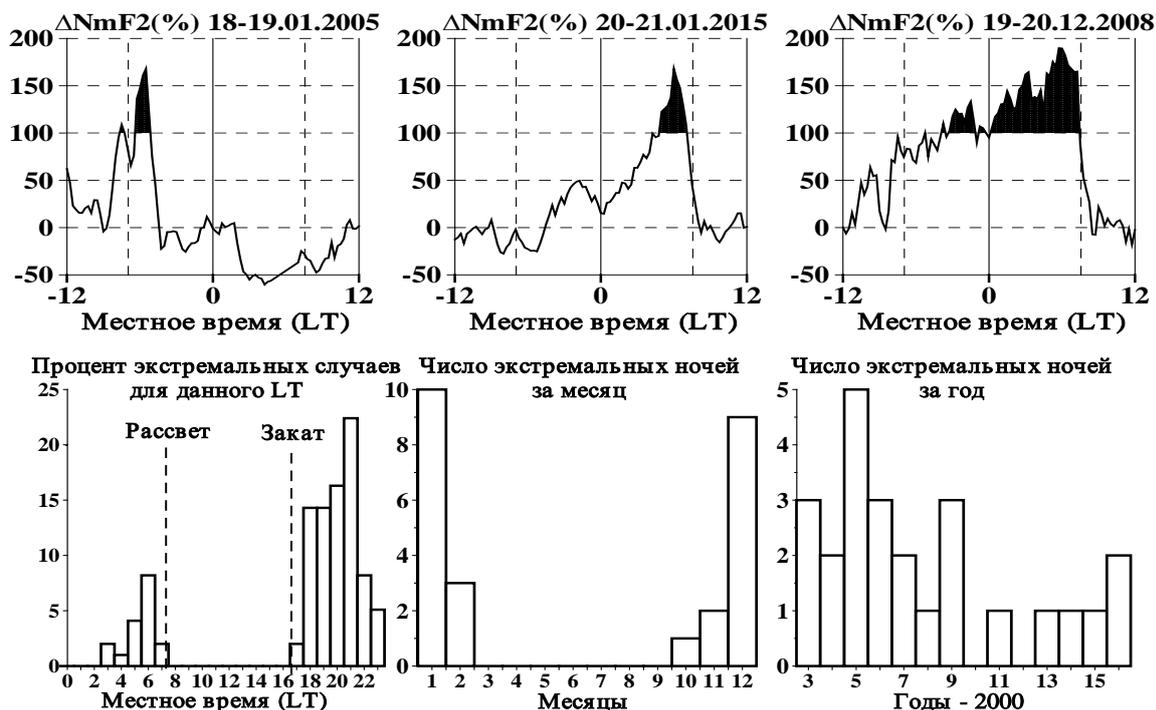


Рис. 2.2.1.7.1. Типичные примеры экстремальных ионосферных возмущений (верхняя панель). Процентное распределение экстремальных случаев для данного LT, число экстремальных ночей за каждый месяц и число экстремальных ночей за один год (нижняя панель)

Публикация:

Ратовский К.Г., Дмитриев А.В., Клименко М.В., Медведева И.В. Связь экстремальных ионосферных событий с проявлениями геомагнитной и метеорологической активности // Труды XXVII Всероссийской открытой научной конференции «Распространение радиоволн» [Электронный ресурс]. Калининград: Издательство БФУ им. И. Канта, 2021. С. 122–127.

2.2.1.8. Исследование радиолокационных характеристик космического аппарата в ионосфере при включении бортовых жидкостных реактивных двигателей в космических экспериментах «Плазма–Прогресс» и «Радар–Прогресс»

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. В.П. Лебедев, к.ф.-м.н. Д.С. Кушнарев, к.ф.-м.н. В.В. Хахинов.

Осуществлен цикл исследований влияния выхлопных струй бортовых жидкостных реактивных двигателей на радиооблик низкоорбитального космического аппарата. Эксперименты проводились с использованием транспортных грузовых кораблей серии «Прогресс» на Иркутском радаре некогерентного рассеяния в рабочем диапазоне частот 154–162 МГц. Результаты исследований показали, что включение жидкостных реактивных двигателей, как правило, приводит к снижению уровня радиолокационного сигнала и уменьшению расчетной эффективной площади рассеяния (ЭПР) транспортного корабля «Прогресс». Наибольшее понижение ЭПР достигало 60 % и наблюдалось, когда вектор скорости выхлопной струи был близок как к направлению на радар, так и к силовым линиям геомагнитного поля (рис. 2.2.1.8.1). Полученная зависимость ЭПР в целом согласо-

ется с результатами моделирования ЭПР объекта, погруженного в асимметричное плазменное образование. При малом угле между вектором скорости струи и магнитным полем выхлопная струя вытягивается вдоль магнитного поля, а радиус кривизны достигает наименьшего значения, что приводит к наибольшему уменьшению ЭПР. При увеличении угла между направлением выхлопа и магнитным полем ширина и радиус кривизны выхлопной струи увеличиваются, что уменьшает влияние выхлопной струи на ЭПР.

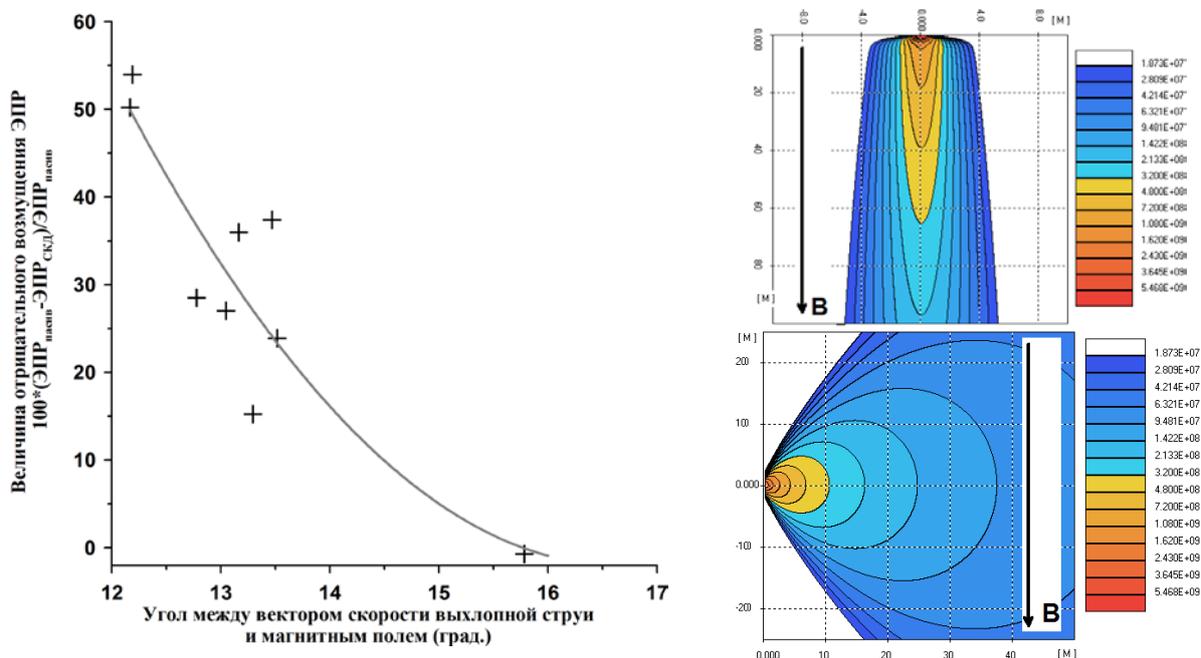


Рис. 2.2.1.8.1. Относительное изменение ЭПР в зависимости от угла между вектором скорости выхлопной струи и силовыми линиями геомагнитного поля (слева). Результаты моделирования формы выхлопной струи ТГК «Прогресс» в зависимости от угла между ее вектором скорости и направлением силовых линий магнитного поля (справа)

Публикация:

Лебедев В.П., Кушнарев Д.С., Хахинов В.В. Исследование радиолокационных характеристик космического аппарата в ионосфере при включении бортовых жидкостных реактивных двигателей в космических экспериментах «Плазма–Прогресс» и «Радар–Прогресс» // Солнечно-земная физика (принята в печать).

2.2.1.9. Программный комплекс моделирования радиолокационного сигнала

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. В.П. Лебедев, В.А. Ивонин.

Разработан программный комплекс моделирования радиолокационного (РЛ) сигнала в УКВ- и СВЧ-диапазонах с учетом характеристик среды распространения в тропосфере (модели Блэка, Гоада — Гудмана, Саастамойнена, GSAT, MOPS, Нейлла) и ионосфере (модели IRI-2016, NeQuick и др.). Разработанный программный комплекс позволяет рассчитывать поляризационные эффекты Фарадея и Коттона — Мутона с учетом моделей магнитного поля IGRF и WMM. Для определения направлений ракурсного рассеяния для выбранной точки наблюдения рассчитывается ракурсная поверхность (рис. 2.2.1.9.1). Разработанный программный комплекс позволяет также провести сравнительный анализ эффектов распространения для различных типов РЛ-сигналов — фазоманипулированных, с линейной частотной модуляцией. Результаты работы разработанного программного ком-

плекса проверены и используются на Иркутском радаре некогерентного рассеяния при обработке наблюдений за космическими аппаратами и космическим мусором. С помощью разработанного программного комплекса рассчитаны ракурсные поверхности для всех в мире радаров некогерентного рассеяния, что существенно помогает анализировать публикуемые результаты по наблюдениям когерентного эха.

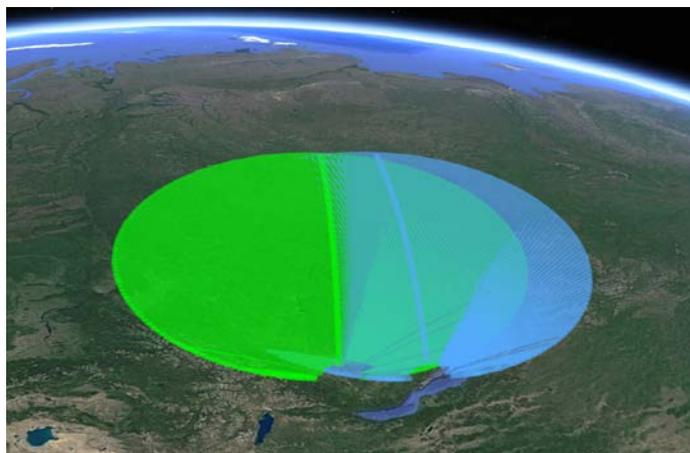


Рис. 2.2.1.9.1. Ракурсные поверхности для Иркутского радара некогерентного рассеяния (зеленый) и для всеатмосферного радара HP-MCT (синий)

Публикация:

Ivonin V.A., Lebedev V.P. Simulation of radar signals in the VHF range, taking account of their propagation effects in the troposphere and ionosphere // Photon Ics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS). 2021. P. 2519–2525.

2.2.1.10. Исследование сезонной и суточной динамики радишума среднеширотных радаров в диапазоне 8–20 МГц

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт¹, J.-P. St. Maurice², J.M. Ruohoniemi³, A. Marchaudon⁴.

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — University of Saskatchewan (USask), Canada

3 — Virginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech), USA

4 — Research Institute in Astrophysics and Planetology (IRAP), Toulouse University, France

На основе геометрической трассировки лучей в гладкой ионосфере, заданной моделью IRI-2016, разработана численная модель уровня радишума для когерентных радаров, работающих в диапазоне 8–20 МГц, и объяснена сезонно-суточная динамика, наблюдаемая четырьмя среднеширотными коротковолновыми радарными на частотах 10–14 МГц. В расчетах предполагалось, что шум распространяется с границы мертвой зоны радара. Поглощение шума вдоль пути луча моделировалось на основе международной ссылочной модели ионосферы IRI-2016, а также плотности молекулярного азота и электронной температуры, полученных с помощью модели NRLMSISE-00. Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными продемонстрировало хорошее согласие между ними (рис. 2.2.1.10.1). Показано, что модель Данилова нижней части ионосферы (D- и E-слои) дает наилучшее согласие с экспериментальными данными. Разработанная нами модель позволяет оценить поглощение в D- и E-слоях в невозмущенных условиях, что важно для восстановления долговременных вариаций электронной плотности в нижней ионосфере. Модель позволяет также интерпретировать вертикальное поглощение по экспериментальным данным, тем самым значительно расширяя возможности когерентных коротковолновых радаров по мониторингу нижней ионосферы.

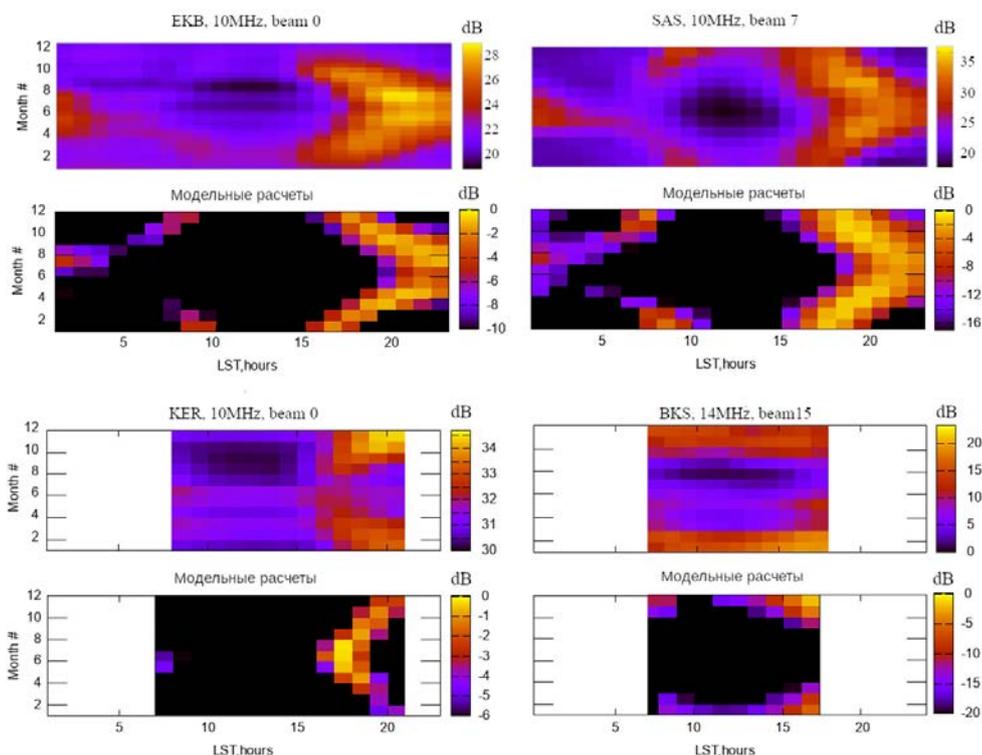


Рис. 2.2.1.10.1. Сравнение модельных расчетов сезонно-суточной динамики уровня шума и экспериментальных наблюдений для четырех среднеширотных радаров

Публикация:

Berngardt O.I., St. Maurice J.-P., Ruohoniemi J.M., Marchaudon A. Seasonal and diurnal dynamics of radio noise for 8–20 MHz poleward-oriented mid-latitude radars // *Radio Science*. 2022 (в печати).

2.2.2. Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов

2.2.2.1. Определение параметров ионосферы по данным зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — к.ф.-м.н. С.Н. Пономарчук, к.ф.-м.н. В.П. Грозов, к.ф.-м.н. Г.В. Котович, д.ф.-м.н. В.И. Куркин, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный.

Разработаны методы и алгоритмы определения пространственного распределения электронной концентрации ионосферы по данным вертикального (ВЗ), наклонного (НЗ) и возвратно-наклонного (ВНЗ) зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом. Исходными данными являются результаты автоматической обработки и интерпретации ионограмм, треки регистрируемых сигналов. Для ВЗ по выделенным на ионограмме трекам сигналов строится высотно-частотная характеристика (ВЧХ) — зависимость действующей высоты отражения от частоты. По ВЧХ производится отсчет ионосферных параметров и расчет профиля электронной концентрации $N(h)$. В случае наклонного зондирования входными данными для оперативного расчета параметров ионосферы являются результаты выделе-

ния трека односкачкового мода 1F2 на ионограмме — дистанционно-частотная характеристика (ДЧХ). Разработана методика обращения ДЧХ НЗ мода 1F2 в ВЧХ ВЗ вблизи средней точки трассы с использованием метода кривых передачи. Расчет профилей электронной концентрации $N(h)$ по ВЧХ в средних точках радиотрасс позволяет восстановить пространственное распределение электронной концентрации в области расположения трасс. На рис. 2.2.2.1.1 приведены результаты автоматической обработки и интерпретации ионограммы НЗ, полученной в ноябре 2020 г. на трассе Магадан – Иркутск, а также результаты расчета ВЧХ ВЗ и профиля плазменной частоты $f_e(h) = \sqrt{80.6N(h)}$ в средней точке трассы.

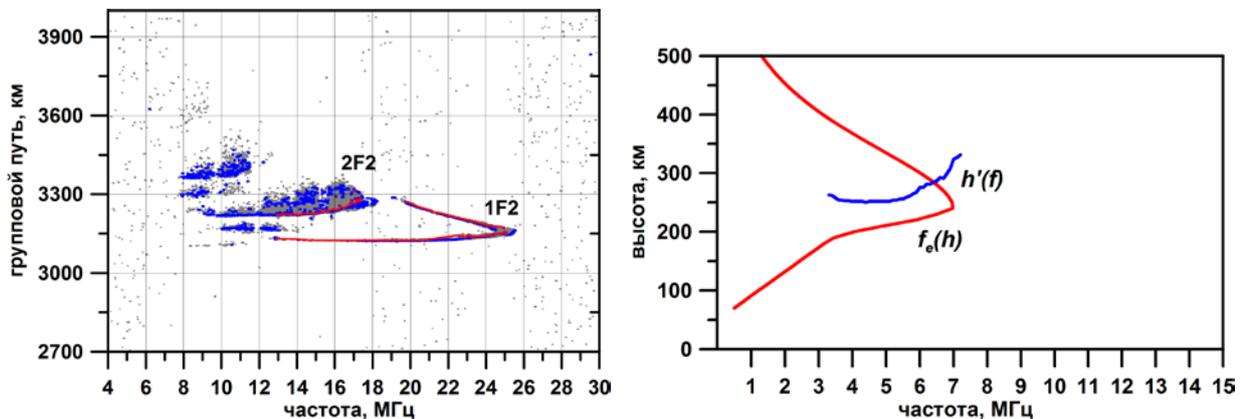


Рис. 2.2.2.1.1. Левая панель — ионограмма НЗ и результаты ее автоматической обработки и интерпретации: синие точки — результаты вторичной обработки; красные точки — ДЧХ НЗ. Правая панель — результаты восстановления ВЧХ (синяя линия) и профиля плазменной частоты (красная линия)

Для возвратно-наклонного зондирования входными данными являются результаты выделения переднего фронта сигнала ВНЗ на ионограмме. Передний фронт сигнала ВНЗ используется для расчета максимальных применимых частот и ДЧХ односкачкового мода наклонного распространения 1F2 на заданной сетке дальностей в секторе зондирования. На основе обращения полученных характеристик НЗ в ВЧХ ВЗ рассчитываются профили электронной концентрации в заданных точках в секторе зондирования. Результаты определения параметров ионосферы используются для коррекции моделей ионосферы.

Публикация:

Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Kotovich G.V., Kurkin V.I., Oinats A.V., Podlesnyi A.V. Determination of ionospheric parameters from data of sounding with continuous chirp signal // Proc. of SPIE. Vol. 11916: 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2021. 1191679. DOI: 10.1117/12.2602071.

2.2.2.2. Определение параметров перемещающихся ионосферных возмущений по ионограммам вертикального зондирования с дополнительными U-образными треками

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Автор результата — к.ф.-м.н. О.А. Ларюнин.

Разработан метод определения параметров перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) по ионограммам вертикального зондирования с дополнительными U-образными треками. В присутствии ПИВ над точкой зондирования возникают области с повышенной электронной концентрацией и на ионограммах регистрируется U-образный трек (рис. 2.2.2.2.1, а), который с течением времени перемещается относительно основно-

го трека (рис. 2.2.2.2.1, б). На основе моделирования характеристик отраженных сигналов методом траекторного синтеза в рамках двумерной модели возмущения (рис. 2.2.2.2.1, в) исследованы изменения формы дополнительного трека ионограммы в зависимости от параметров возмущения. Реализован алгоритм фитирования дополнительного трека, что позволяет определить характеристики ПИВ: интенсивность, пространственный масштаб локализации, модуль горизонтальной скорости перемещения.

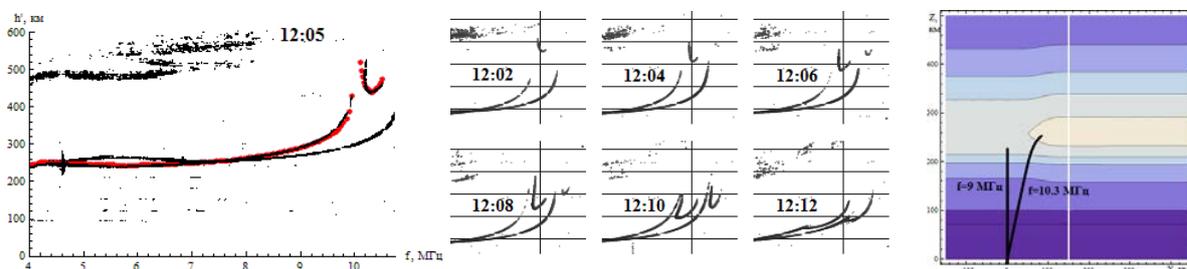


Рис. 2.2.2.2.1. U-образная структура трека на ионограмме (а): черные точки — экспериментальные данные, красные точки — результат моделирования; динамика U-образной структуры (б); характерные лучевые траектории (в): вертикальный луч — для основного трека ионограммы, боковое отражение — для U-образной структуры

Публикации:

1. Laryunin O. A. Studying characteristics of traveling ionospheric disturbances using U-shaped traces on vertical incidence ionograms // *Adv. Space Res.* 2021. Vol. 67, iss. 3. P. 1085–1089. DOI: 10.1016/j.asr.2020.11.007.

2. Ларюнин О.А. Определение параметров перемещающихся ионосферных возмущений по ионограммам вертикального зондирования с дополнительными U-образными треками // *Геомагнетизм и аэрномия.* 2021. Т. 61, № 6. С. 763–768. DOI: 10.31857/S0016794021060109.

2.2.2.3. Волновое ионосферное возмущение, зарегистрированное во время магнитной бури 20 апреля 2018 г.

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — В.А. Иванова¹, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный¹, А.А. Рыбкина¹, А.И. Поддельский².

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — ИКИР ДВО РАН

По данным наклонного зондирования на трех трассах, проходящих над Азиатским регионом Российской Федерации, на главной фазе умеренной магнитной бури 20.04.2018 г. были зарегистрированы вариации максимальных наблюдаемых частот (МНЧ), связанные с волновым ионосферным возмущением. Были проанализированы суточные вариации МНЧ КВ-радиосигналов на трассах Магадан — Торы, Хабаровск — Торы и Норильск — Торы; координаты приемного пункта Торы: 52° N, 103° E. Индекс *Dst* в 10 UT 20.04.2018 составил –66 нТл (рис. 2.2.2.3.1). Первый всплеск волнового ионосферного возмущения наблюдался на главной фазе бури с 7 до 9 UT. На трассе Магадан — Торы МНЧ с 7:00 до 7:55 UT повысилась на 5 МГц, а затем до 9 UT плавно уменьшалась. На трассах Норильск — Торы и Хабаровск — Торы увеличение МНЧ в этот период времени составило соответственно 4.3 и 6.5 МГц. На трассе Магадан — Торы максимальные вариации МНЧ наблюдались с 9:00 до 10:50 UT и достигали 10 МГц. На трассе Хабаровск — Торы вариации МНЧ в это время были также значительны (рис. 2.2.2.3.1). Период вариаций МНЧ составил 2–3 ч, что соответствует периоду крупномасштабных перемещающихся ионосферных возмущений.

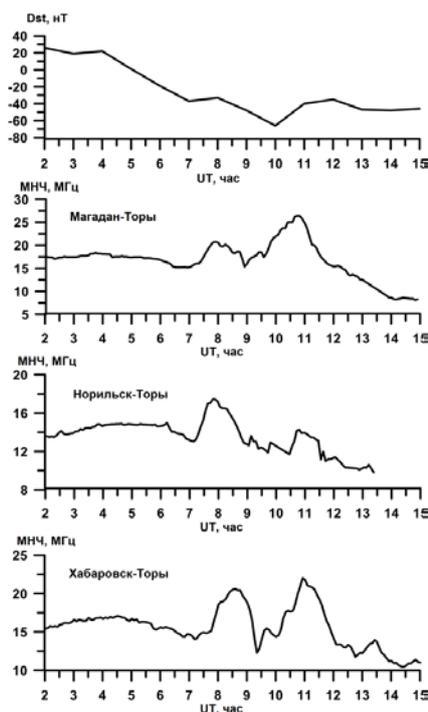


Рис. 2.2.2.3.1. Вариации *Dst*-индекса и МНЧ для исследуемых трасс наклонного зондирования

Публикация:

Ivanova V.A., Podlesnyi A.V., Rybkina A.A., Poddelsky A.I. Wave ionospheric disturbance registered during the magnetic storm on April 20, 2018 // Proc. of SPIE. Vol. 11916: 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2021. 1191685. DOI:10.1117/12.2603417.

2.2.2.4. Связь между амплитудными и частотными характеристиками КВ-радиосигналов на фоне рентгеновских солнечных вспышек

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — В.А. Иванова¹, М.В. Цедрик¹, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный¹, А.И. Поддельский².

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — ИКИР ДВО РАН

Исследовано влияние солнечных вспышек на характеристики распространения КВ-радиосигналов на трех трассах наклонного зондирования. Были выбраны десять вспышек классов М и X в период 2014–2015 гг. Рассматривались временные вариации наименьшей наблюдаемой частоты (ННЧ), а также суммарных амплитуд, рассчитанных для каждого сеанса зондирования ионосферы. Суммирование велось по всем сигналам на ионограмме. Во время всплесков рентгеновского излучения регистрировались рост ННЧ и падение суммарных амплитуд. На рис. 2.2.2.4.1 приведена зависимость сумм амплитуд от ННЧ для десяти рентгеновских вспышек, наблюдавшихся в дневное время на трассе Хабаровск — Торы. Из графика видно, что зависимость нелинейная: чем выше ННЧ, тем меньше убывают суммы амплитуд. При этом в низкочастотной области падение сумм амплитуд во время солнечных вспышек происходит достаточно резко. Экспериментальное установление данной нелинейной зависимости полезно для исследования других геофизических явлений, при которых наблюдается поглощение КВ-радиосигнала, например, магнитных бурь и суббурь.

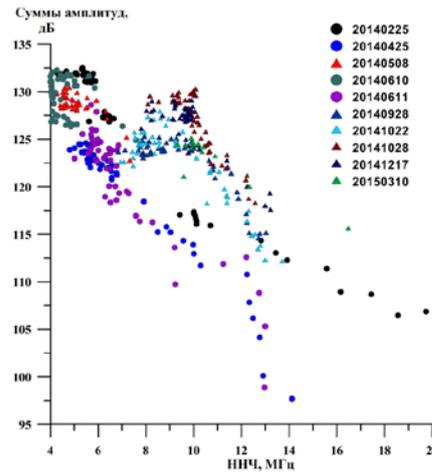


Рис. 2.2.2.4.1. Зависимость суммарных амплитуд от ННЧ для трассы Хабаровск — Торы

Публикация:

Ivanova V.A., Cedrik M.V., Podlesnyi A.V., Poddelsky A.I. Dependence between amplitude and frequency characteristics of HF-signals on the background of solar X-ray flares // Proc. of SPIE. Vol. 11916: 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2021. 1191686. DOI:10.1117/12.2603431.

2.2.2.5. Особенности эмиссий 630.0 и 557.7 нм в области главного ионосферного провала: 17 марта 2015 г.

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — к.ф.-м.н. Н.А. Золотухина, к.ф.-м.н. Н.М. Полех, д.ф.-м.н. А.В. Михалев, к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий, С.В. Подлесный.

Экспериментально доказано, что во время магнитной бури 17 марта 2015 г. главный ионосферный провал (ГИП) сместился до наблюдательного пункта в среднеширотной Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (с. Торы, 52° N, 103° E). Данное утверждение основано на сопоставлении вариаций эмиссий 557.7 и 630.0 нм, наблюдавшихся ночью на главной фазе геомагнитной бури, с изменениями ионосферных параметров над пунктом наблюдения, выявленными по данным ионосферного зондирования ЛЧМ-ионозондом и картам полного электронного содержания. Самые мощные синхронные всплески эмиссий наблюдались при усилениях магнитосферной конвекции, сопровождавшихся активизацией западного электроджета и смещением ГИП до геомагнитной широты ~ 50° (рис. 2.2.2.5.1).

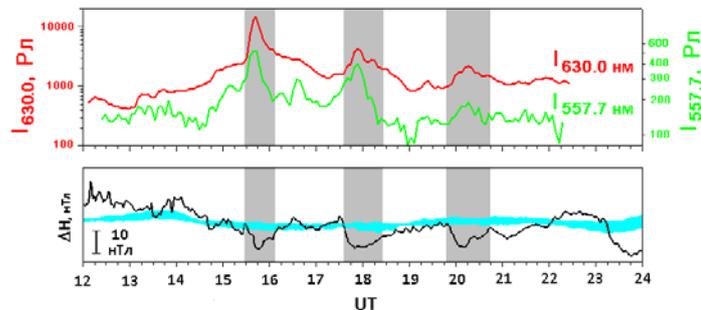


Рис. 2.2.2.5.1. Вверху — вариации интенсивностей эмиссий 630.0 и 557.7 нм; внизу — вариации разностей ΔH между текущими значениями горизонтальной составляющей геомагнитного поля в экваториальной и низкоширотной обсерваториях, расположенных в секторе меридиана оптических наблюдений: черная линия — текущие значения ΔH , бирюзовая полоса — фоновые. Серыми прямоугольниками отмечены интервалы усиленной магнитосферной конвекции, поле которой в ночные часы направлено на запад. Усиление конвекции приводит к понижению ΔH относительно фона

Обнаружено, что стабильная авроральная красная дуга, которая появилась на фоне диффузного свечения вблизи основания полярной стенки ГИП, приблизилась к зениту станции одновременно с появлением на ионограммах F3s-отражений. Эти отражения указывают на наличие узкого провала ионизации, который формируется в зоне ГИП поляризационным джетом и, наряду с ГИП, влияет на распространение КВ-радиоволн.

Публикация:

Золотухина Н.А., Полех Н.М., Михалев А.В., Белецкий А.Б., Подлесный С.В. Особенности эмиссий 630.0 и 557.7 нм в области главного ионосферного провала: 17 марта 2015 г. // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 3. С. 57–71. DOI: 10.12737/szf-73202105.

2.2.2.6. Высокоширотные атмосферные эмиссии во время IPDP 9 ноября 2017 г.

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — к.ф.-м.н. Н.А. Золотухина, к.ф.-м.н. Н.М. Полех, д.ф.-м.н. В.И. Куркин, к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац.

На основе геомагнитных, оптических и ионосферных данных, полученных в обсерваториях Норильск (69° N, 88° E) и Исток (70° N, 88° E), исследованы физические процессы, развивавшиеся на восстановительной фазе магнитной бури 9 ноября 2017 г. и повлиявшие на условия распространения КВ-радиоволн на трассе Норильск — Иркутск во время генерации колебаний убывающего периода (IPDP). Временное соответствие между IPDP и изменениями ионосферных параметров иллюстрирует рис. 2.2.2.6.1, а–в.

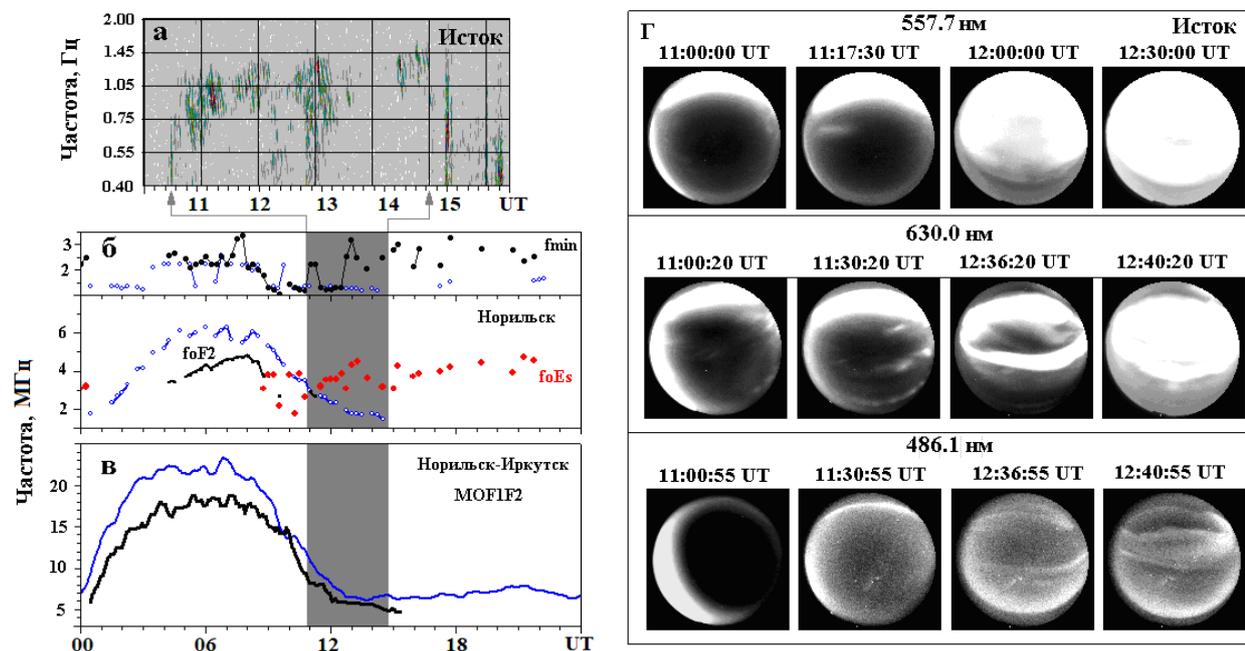


Рис. 2.2.2.6.1. Динамический спектр IPDP (а); вариации минимальной частоты отражений f_{min} , максимальной плазменной частоты F2-слоя f_oF2 и предельной частоты спорадического слоя f_oEs в Норильске (б); максимальной наблюдаемой частоты односкачкового мода MOF1F2 на трассе Норильск — Иркутск (в); изображения, сделанные камерой всего неба в указанные моменты времени на трех длинах волн (з). Синие элементы соответствуют фоновым, черные — текущим значениям параметров. Серые прямоугольники отмечают время наблюдения IPDP

Полученные результаты подтверждают правомерность применения конвективной модели генерации IPDP, в которой предполагается, что источником IPDP может быть

внутренняя граница плазменного слоя, для которой на ионосферных высотах характерны диффузные высыпания и сияния. В этой модели периоды колебаний уменьшаются из-за дрейфа излучающих ионов в область более сильного геомагнитного поля (на меньшие L-оболочки). Сопоставление спектрально-поляризационных характеристик IPDP с изображениями, полученными с помощью камеры всего неба на длинах волн 486.1 (протонные сияния), 557.7 и 630.0 нм (зеленая и красная эмиссии атомарного кислорода), показало, что периоды пульсаций действительно уменьшались по мере показанного на рис. 2.2.2.6.1, z продвижения диффузных высыпаний и дуг протонных сияний в сторону экватора. Смещение сияний сопровождалось переходом от правополяризованных колебаний, распространяющихся в ионосферном волноводе, к левополяризованным колебаниям, которые, согласно конвективной модели, должны наблюдаться под ионосферной проекцией источника.

Публикация:

Zolotukhina N.A., Polekh N.M., Kurkin V.I., Beletsky A.B., Oinats A.V. High-latitude atmospheric emissions during November 9, 2017 IPDP event // Proc. of SPIE. Vol. 11916: 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2021. 119167D. DOI:10.1117/12.2602686.

2.2.2.7. Долготные вариации геомагнитных и ионосферных параметров в Северном полушарии во время магнитных бурь по данным мультиинструментальных наблюдений

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.А. Черниговская¹, к.ф.-м.н. Б.Г. Шпынев†¹, к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич¹, к.ф.-м.н. Д.С. Хабитуев¹, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский¹, А.Ю. Белинская², А.Е. Степанов³, В.В. Бычков⁴, С.А. Григорьева⁵, В.А. Панченко⁶, Д. Коуба⁷, Й. Мелич⁸.

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — ИНГГ СО РАН

3 — ИКФИА СО РАН

4 — ИКИР ДВО РАН

5 - ИГГ УрО РАН

6 — ИЗМИРАН РАН

7 — Институт физики атмосферы ЧАН, Чешская Республика

8 — Институт физики атмосферы им. Лейбница, Кюлунгсборн, Германия

Проанализированы долготно-временные вариации параметров средне- и высокоширотной ионосферы Северного полушария на основе анализа данных цепей двухчастотных фазовых приемников GPS/ГЛОНАСС и среднеширотной цепи ионозондов Евразийского континента во время двух самых сильных магнитных бурь 24-го цикла солнечной активности — в марте и июне 2015 г. Регистрируемые ионосферные эффекты проявляют выраженную долготную неоднородность, связанную с наличием долготных особенностей фоновой структуры и вариаций геомагнитного поля. По данным пространственно-временного распределения вертикального полного электронного содержания подтверждены предположения о возможном формировании над Канадой зоны интенсивных отрицательных ионосферных возмущений в периоды магнитных бурь (рис. 2.2.2.7.1).

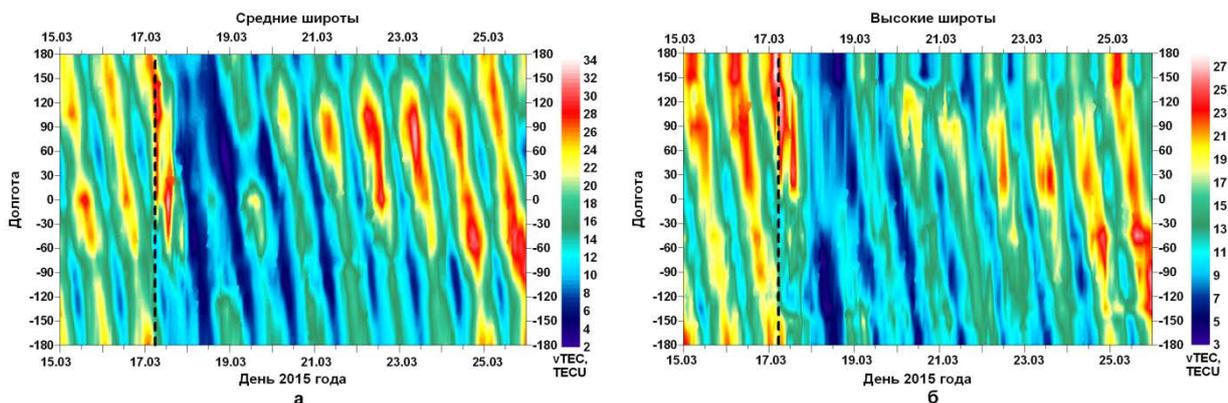


Рис. 2.2.2.7.1. Долготно-временные вариации ПЭС по данным среднеширотной (а) и высокоширотной (б) цепей приемников GPS/ГЛОНАСС (б) в период бури 15–25 марта 2015 г. (UT). Вертикальные штриховые линии отмечают внезапное начало бури (SSC)

В североамериканском секторе наблюдаются более интенсивные и продолжительные отрицательные ионосферные возмущения в периоды магнитных бурь, связанные с зоной сильных вариаций геомагнитного поля, формирующихся в направлении меридиана геомагнитного полюса вблизи $\sim 90^\circ$ W и на долготах $\sim 45^\circ$ и $\sim 135^\circ$ W. Над регионом Евразии на долготах $\sim 80^\circ$ – 110° E. наблюдается область повышенной ионизации на высотах F2-области ионосферы и раньше всего происходит восстановление ионизации после геомагнитных возмущений ввиду низкого уровня вариаций геомагнитного поля в этом долготном секторе.

Комплексный подход к исследованию вариаций параметров ионосферы средних и высоких широт Северного полушария с использованием данных ионозондов и приемников GPS/ГЛОНАСС позволил установить, что глобальные ионосферные эффекты в периоды развития магнитных бурь имеют выраженную долготную неоднородность. Эти долготные вариации могут быть связаны с вариациями геомагнитного поля, а также с крупномасштабными динамическими процессами в нейтральной термосфере в периоды бурь.

Публикация:

Chernigovskaya M.A., Shpynev B.G., Yasyukevich A.S., Khabituev D.S., Ratovsky K.G., Belinskaya A.Yu., Stepanov A.E., Bychkov V.V., Grigorieva S.A., Panchenko V.A., Kouba D., Mielich J. Longitudinal variations of geomagnetic and ionospheric parameters in the Northern Hemisphere during magnetic storms according to multi-instrument observations // Adv. Space Res. 2021. Vol. 67, no. 2. P. 762–776. DOI: 10.1016/j.asr.2020.10.028.

2.2.2.8. Анализ возможностей коррекции ионосферных ошибок радиотехнических систем при использовании данных ГНСС

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения дециметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич, А.М. Веснин, д.ф.-м.н. В.И. Куркин.

Проведен анализ использования данных ГНСС для оценки параметров ионосферы с целью коррекции ионосферных ошибок радиотехнических систем. Отмечено, что достоинством ГНСС является большое число измерений в различных точках земного шара и стабильность измерений даже в условиях магнитных бурь. При этом существует ряд проблем, которые необходимо учитывать при использовании данных, включая сложности пересчета измерений ПЭС в ионосферные поправки, связанные с особенностями измерений в реальном времени. Развитие технологии ГНСС для оперативной коррекции ошибок радиотехнических систем заключается в совместном использовании спутниковых данных с

данными других радиотехнических средств, нивелирующими ограничения ГНСС. При этом при реализации комплекса оперативного мониторинга среды околоземного космического пространства перспективно использование дополнительных средств с низким уровнем излучаемой мощности и возможностью быстрого развертывания, какими являются, в частности, ионозонды.

Публикация:

Yasyukevich Y.V., Vesnin A.M., Kurkin V.I. Global Navigation Satellite Systems for ionospheric error correction in radio-engineering systems: Challenges and prospects // Radiophys. and Quant. Electr. 2021. Vol. 63, no. 3. P. 177–190. DOI: 10.1007/s11141-021-10044-4.

2.2.2.9. Исследование электромагнитных волн КНЧ/ОНЧ-диапазона магнитосферного происхождения во время геомагнитных возмущений в марте и ноябре 2017 г.

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — д.ф.-м.н. В.И. Куркин¹, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац¹, Y. Takeshita², K. Shiokawa², Y. Miyoshi², M. Ozaki³, Y. Kasahara³, S.-I. Oyama⁴, M. Connors⁵, J. Manninen⁶, V.K. Jordanova⁷, Д. Баишев⁸

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Japan

3 — Kanazawa University, Japan

4 — Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Japan; University of Oulu, Finland; National Institute of Polar Research, Japan

5 — Athabasca University, Canada

6 — Sodankylä Geophysical Observatory, Finland

7 — Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Japan; Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, USA

8 — ИКФИА СО РАН, Якутск, Якутия, Россия

Электромагнитные волны крайне низких частот (КНЧ/ОНЧ) магнитосферного происхождения играют важную роль в ускорении и потере энергичных электронов в магнитосфере в результате взаимодействия волна–частица. Для количественной оценки эффекта взаимодействия волна–частица требуется понимание пространственно-временной динамики магнитосферных волн. Такое исследование было проведено с использованием данных шести наземных станций, размещенных на субавроральных широтах в рамках проекта PWING, спутников ERG, RBSP, POES/MetOp и модели RAM-SCB, полученных во время геомагнитных возмущений марта и ноября 2017 г., вызванных коротящими областями взаимодействия в солнечном ветре. В результате исследования обнаружено, что КНЧ/ОНЧ-волны усиливаются в продольном направлении от полуночи до утра и дневной стороны, что связано с суббуревыми инжекциями электронов. На основной фазе бури, а также на ранней стадии восстановления наблюдались непрерывные КНЧ/ОНЧ-волны в утреннем секторе в период от ~ 0 до ~ 12 MLT. Такое широкое пространственно-временное распределение, по-видимому, вызвано возникновением последовательных суббурь на ранней фазе восстановления. Волновая область расширяется на восток в связи с дрейфом электронов источника, инжектированных суббурами с ночной стороны. Было обнаружено также усиление дневных КНЧ/ОНЧ-волн на протяжении не менее пяти часов MLT, которое, возможно, вызвано сжатием магнитосферы солнечным ветром. Наземные наблюдения, как правило, не позволяют наблюдать КНЧ/ОНЧ-волны в секторе после полуночи, хотя другие методы ясно показывают существование таких волн. Возможно, это связано с затуханием Ландау, отсутствием канала (дакта) плотности плазмы и/или усиленной авроральной ионизацией ионосферы в послеполуночном секторе.

Публикация:

Takeshita Y., Shiokawa K., Miyoshi Y., Ozaki M., Kasahara Y., Oyama S.-I., Connors M., Manninen J., Jordanova V.K., Baishev D., Oinats A., Kurkin V. Study of spatiotemporal development of global distribution of magnetospheric ELF/VLF waves using ground-based and satellite observations, and RAM-SCB simulations, for the March and November 2017 storms // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2021. Vol. 126, iss. 2, e2020JA028216. DOI: 10.1029/2020JA028216.

2.2.3. Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий

2.2.3.1. Анализ атмосферной циркуляции внетропических широт Северного полушария и ее влияния на связь уходящей длинноволновой радиации с приповерхностной температурой в различных геомагнитных условиях

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.А. Караханян, к.ф.-м.н. С.И. Молодых.

В рамках вопроса о вкладе солнечной активности и циркуляции различных типов в наблюдаемые изменения климата проведен анализ атмосферной циркуляции внетропических широт Северного полушария и ее влияния на связь уходящей длинноволновой радиации (УДР) с приповерхностной температурой в спокойных условиях (индекс $PC < 0.8$) и во время геомагнитных возмущений ($PC \geq 0.8$). Для анализа атмосферной циркуляции использовались типизации макросиноптических процессов Вангенгейма — Гирса и Б.Л. Дзердзеевского с 1979 по 2015 г. Показано, что в спокойных геомагнитных условиях усиливается меридиональная циркуляция, при которой над полушарием формируются северные блокирующие процессы. Во время геомагнитных возмущений усиливаются циркуляционные процессы, которые приводят к развитию интенсивной циклонической деятельности, связанной с выходом южных циклонов в средние и высокие широты. Долговременный тренд циклонической циркуляции увеличивается, а тенденция изменений северных меридиональных процессов уменьшается в два раза в течение возмущений, по сравнению со спокойными условиями (рис. 2.2.3.1.1, а). Циклоническая циркуляция приводит к ослаблению корреляции и усилению антикорреляции между уходящей длинноволновой радиацией и приповерхностной температурой в зимний период (рис. 2.2.3.1.1, б).

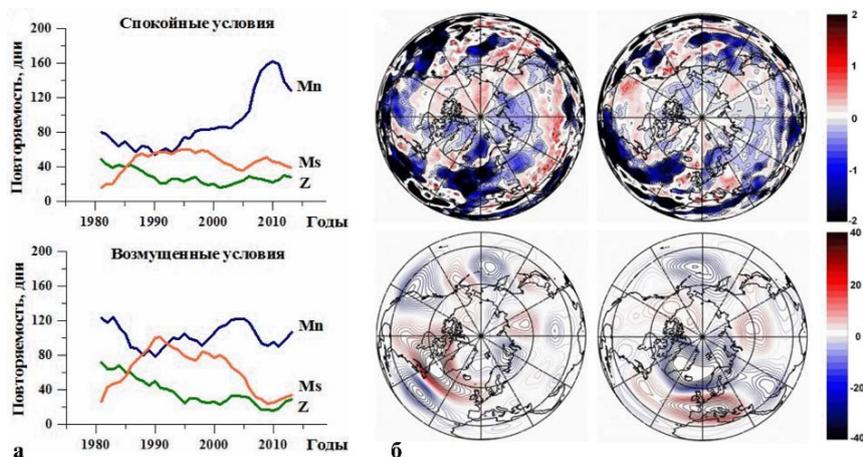


Рис. 2.2.3.1.1. Скользящие 5-летние средние повторяемости форм атмосферной циркуляции: зональная Z, меридиональная северная M_n , меридиональная южная M_s (а). Карты разности коэффициентов регрессионной связи УДР с температурой (вверху) и карты разности геопотенциальных высот изобарической поверхности 500 гПа (внизу) между возмущенными и спокойными условиями в зимний период для зональной (слева) и меридиональной южной (справа) форм циркуляции (б)

Публикация:

Karakhanyan A.A., Molodykh S.I. Impact of atmospheric circulation on climate changes under quiet conditions and during geomagnetic disturbances // Proc. SPIE. Vol. 11916: 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2021. 1191684. DOI: 10.1117/12.2603412.

2.2.3.2. Влияние солнечной активности на поле скоростей в атмосфере, ветровые напряжения на границе океан — атмосфера и поверхностные океанические течения

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. С.И. Молодых, к.ф.-м.н. А.А. Караханян, К.Е. Кириченко.

На основе наблюдательных данных проведен анализ влияния солнечной активности (СА) в 23-м цикле на поле скоростей в атмосфере (на уровне 10 м), ветровые напряжения на границе океан — атмосфера и поверхностные океанические течения. Усиление СА (в солнечном цикле) от минимума к максимуму сопровождается статистически значимым изменением атмосферной циркуляции вблизи поверхности, ветровых напряжений и скорости поверхностных течений в океане, которое зависит от региона и от сезона. В большинстве регионов на средних и высоких широтах при возрастании СА от минимума к максимуму в весенние месяцы наблюдается усиление циркуляции в приземном слое атмосферы и на поверхности океана, при этом в осенние месяцы наблюдается ослабление циркуляции (рис. 2.2.3.2.1, а, в). Показано, что большая часть изменений поверхностных океанических течений на средних и высоких широтах, происходящих при изменении СА, обусловлена поверхностными напряжениями, связанными с приповерхностной циркуляцией в атмосфере, на которую оказывает влияние СА. Изменения поверхностных течений в океане на низких широтах, наблюдаемые при изменении СА, связаны в основном с внутренними процессами в деятельном слое океана (рис. 2.2.3.2.1, б, в), на которые также влияет СА.

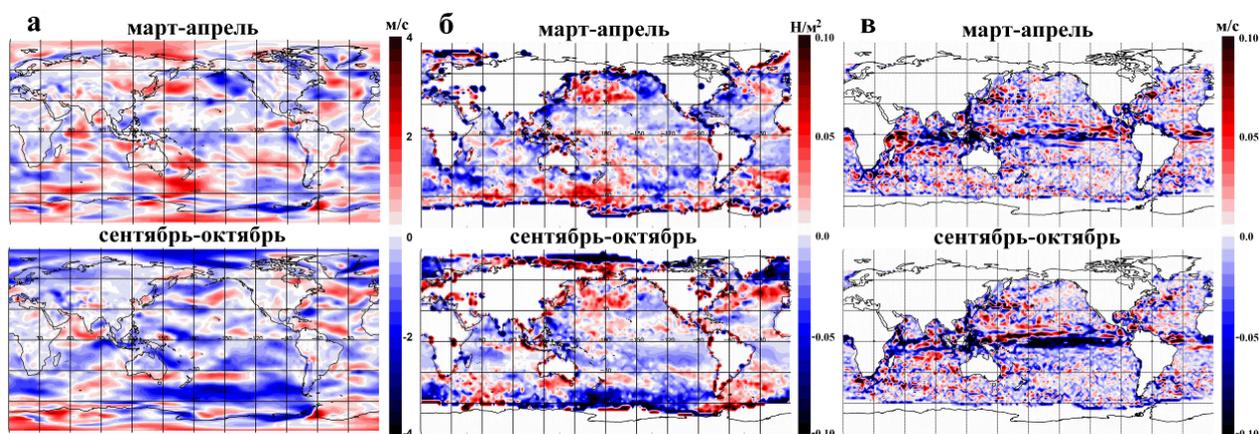


Рис. 2.2.3.2.1. Разности между значениями в максимуме (2000–2002 гг.) и минимуме (2006–2008 гг.) солнечной активности в марте–апреле (вверху), в сентябре–октябре (внизу): для скоростей ветров в приземном слое атмосферы (10 м) (а), ветровых напряжений (б), скоростей поверхностных океанических течений (в)

Публикация:

Molodykh S.I., Karakhanyan A.A., Kirichenko K.E. Impact of solar activity on atmospheric circulation and oceanic surface currents // Proc. SPIE. Vol. 11916: 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2021. 119167M. DOI: 10.1117/12.2603128.

2.2.3.3. Сравнительный анализ эффектов зимних внезапных стратосферных потеплений в верхней атмосфере средних и высоких широт

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. И.В. Медведева^{1,2}, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский¹.

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — ИФА РАН

Проведено исследование вариаций температуры области мезопаузы и максимума электронной концентрации в периоды действия зимних внезапных стратосферных потеплений (ВСП) в январе 2013 г. и феврале–марте 2016 г. с использованием данных о вращательной температуре молекулы гидроксила (полоса OH(6-2) 834.0 нм), получаемых из спектрометрических измерений в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (51.8° N, 103.1° E, Торы), данных о максимуме электронной концентрации N_mF2 , полученных с помощью Иркутского (52.3° N, 104.3° E) и Норильского (69.2° N, 88.0° E) ионозондов DPS-4, спутниковых данных Aura EOS и реанализа MERRA. Обнаружено, что наибольший эффект ВСП в 2013 г. в области мезопаузы наблюдался в виде увеличения до 200 % межсуточной изменчивости ее температуры, которое может быть вызвано интенсификацией активности планетарных волн на этих высотах (рис. 2.2.3.3.1, а). В F2-области ионосферы основной эффект наблюдался в поведении межсуточной ионосферной возмущенности и нарушении ее корреляции с солнечной активностью (рис. 2.2.3.3.1, б). Для ВСП в 2016 г. наибольшие эффекты обнаружены в значительном увеличении внутрисуточной изменчивости температуры мезопаузы и N_mF2 , которая может быть вызвана влиянием приливов и внутренних гравитационных волн. Так, в F2-области ионосферы на обеих станциях наблюдались сильные периодические возмущения N_mF2 , которые можно отнести к приливному. Их начало соответствует максимуму ВСП (5 и 6 февраля для Иркутска и Норильска соответственно).

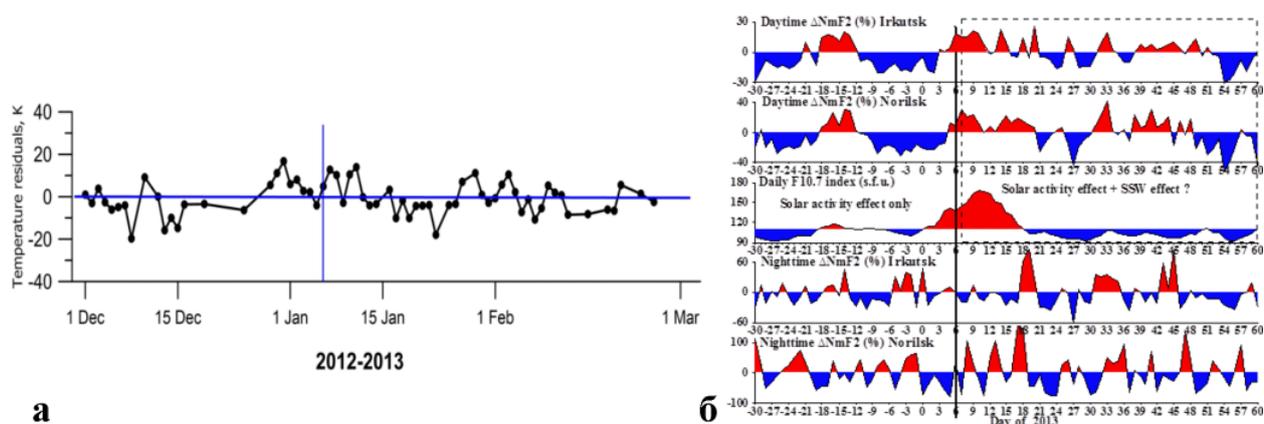


Рис. 2.2.3.3.1. Остаточные отклонения температуры мезопаузы после вычитания гармоник сезонных вариаций 01.12.2012–01.03.2013 (а); вариации среднедневных (10–14 LT) возмущений N_mF2 для Иркутска и Норильска, солнечной активности и средненочных (22–02 LT) возмущений N_mF2 для Иркутска и Норильска на 91-дневном интервале (01.12.2012–01.03.2013) (б). Вертикальная линия отмечает день реверса зонального (60° N, 10 гПа) ветра (06.01.2013)

Публикации:

Medvedeva I., Ratovsky K. Studying effects of winter sudden stratospheric warmings from observations at middle and high latitudes // Proc. SPIE. Vol. 11916: 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2021. 119167E. DOI: 10.1117/12.2602754.

Медведева И.В., Ратовский К.Г. Исследование эффектов зимних внезапных стратосферных потеплений по наблюдениям на средних и высоких широтах // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXVII Международного симпозиума. Москва, 05–09 июля 2021 г. [Электронный ресурс (CD-ROM)]. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2021. С. E-239-E-242.

2.2.3.4. Проявление эффектов сезонной перестройки циркуляции средней атмосферы на высотах мезопаузы

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Автор результата — к.ф.-м.н. И.В. Медведева^{1,2}.

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — ИФА РАН

По данным многолетних спектрометрических наблюдений излучения гидроксидов OH (6-2) в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (51.8° N, 103.1° E, Торы) проведено исследование вариаций температуры области мезопаузы, обусловленных активностью планетарных волн в верхней атмосфере. Выполнен анализ усредненных за ночь значений температуры мезопаузы и ее остаточных отклонений после вычитания первых трех гармоник сезонных вариаций в периоды сезонной (весна/осень) перестройки циркуляции средней атмосферы (± 30 дней от даты перестройки) для каждого года с 2012 по 2018 г. Даты сезонной перестройки циркуляции средней атмосферы (изменение направления зонального потока на широте 60° N на высотном уровне 10 гПа) были получены по данным реанализа MERRA. Выявлено усиление температурной изменчивости в анализируемые временные интервалы. Обнаружено, что в весенний период наибольшая температурная изменчивость наблюдается перед сезонной перестройкой атмосферной циркуляции. В осенний период в большинстве случаев повышенная изменчивость температуры мезопаузы наблюдается после даты перестройки. В период, предшествующий осенней перестройке циркуляции атмосферы, наблюдаются пониженные значения температуры мезопаузы. На рис. 2.2.3.4.1 в качестве примера приведены результаты для весенней (верхняя панель) и осенней (нижняя панель) перестройки атмосферной циркуляции в 2014 г. Вертикальная линия отмечает дату сезонной перестройки. Возможной причиной выявленных эффектов могут быть возмущения динамики средней атмосферы и интенсификация волновой активности в периоды сезонной (весна/осень) перестройки атмосферной циркуляции.

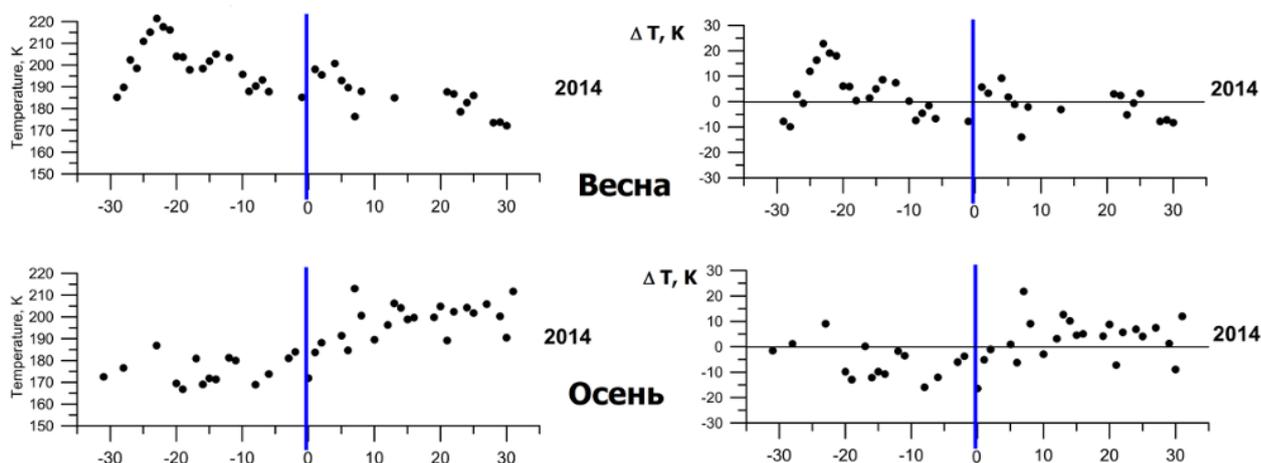


Рис. 2.2.3.4.1. Вариации усредненных за ночь значений температуры мезопаузы и остаточных отклонений температуры (ΔT) после вычитания гармоник сезонных вариаций для весенней (верхняя панель) и осенней (нижняя панель) перестройки циркуляции средней атмосферы в 2014 г. День 0 — дата перестройки атмосферной циркуляции

Публикация:

Medvedeva I.V. Studying seasonal and year-to-year variations in the mesopause temperature from long-term observations of OH (6-2) emission in Eastern Siberia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. (принята в печать).

2.2.3.5. Долготные вариации отклика среднеширотной ионосферы Северного полушария на сильную геомагнитную бурю по данным мультиинструментальных наблюдений

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.А. Черниговская¹, к.ф.-м.н. Б.Г. Шпынев^{†1}, к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич¹, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский¹, А.Ю. Белинская², А.Е. Степанов³, В.В. Бычков⁴, С.А. Григорьева⁵, В.А. Панченко⁶, Д. Коуба⁷, Й. Мелич⁸

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — ИНГГ СО РАН

3 — ИКФИА СО РАН

4 — ИКИР ДВО РАН

5 — ИГГ УрО РАН

6 — ИЗМИРАН РАН

7 — Институт физики атмосферы ЧАН, Чешская Республика

8 — Институт физики атмосферы им. Лейбница, Кюлунгсборн, Германия

На основе анализа данных евразийских среднеширотных цепей ионозондов, приемников GPS/ГЛОНАСС и средне- и высокоширотных цепей магнитометров сети INTERMAGNET установлено, что на главной фазе магнитной бури в октябре 2016 г., так же как и экстремальной бури в марте 2015 г., наблюдался переход от положительного эффекта ионосферной бури к отрицательному (рис. 2.2.3.5, в, г). На фазе восстановления бури наибольшее падение ионизации отмечалось в зоне сильных вариаций геомагнитного поля (рис. 2.2.3.5.1, а, б) на долготах $\sim 130^\circ$ Е (по данным ионозонда в Якутске) и $\sim 40\text{--}60^\circ$ Е (ионозонды в Москве и Екатеринбурге). Над регионом Евразии на долготах $\sim 80\text{--}110^\circ$ Е (ионозонды в Новосибирске и Иркутске), ввиду низкого уровня вариаций геомагнитного поля на этих долготах (рис. 2.2.3.5.1, а), ионосфера после геомагнитного возмущения начала восстанавливаться раньше, чем в других долготных зонах.

Картина долготно-временных вариаций ионосферных параметров в периоды сильных геомагнитных бурь в октябре 2016 г. и марте 2015 г. в условиях равноденствия очень похожа на проявление особенностей, связанных с зависимостью от изменчивости вариаций геомагнитного поля.

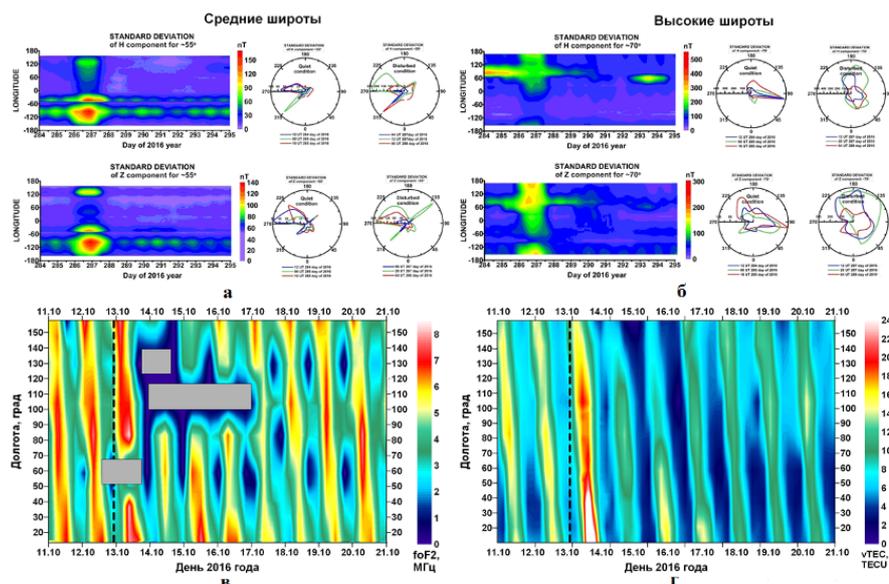


Рис. 2.2.3.5.1. Долготно-временные вариации дисперсий H - и Z -компонент геомагнитного поля на $\sim 55^\circ$ N (а) и $\sim 70^\circ$ N (б), f_oF2 по данным среднеширотной цепи ионозондов (в) и ПЭС по данным среднеширотной цепи приемников GPS/ГЛОНАСС (г) для бури 12–20 октября 2016 г. (UT). Серым цветом показаны периоды отсутствия данных ионозондов

Публикация:

Черниговская М.А., Шпынев Б.Г., Ясюкевич А.С., Хабитуев Д.С., Ратовский К.Г., Белинская А.Ю., Степанов А.Е., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А., Коуба Д., Мелич Й. Долготные вариации отклика среднеширотной ионосферы Северного полушария на геомагнитную бурю в октябре 2016 г. с помощью мультиинструментальных наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 5. С. 305–317. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-305-317.

2.2.3.6. Исследование связи долготных неоднородностей ионосферных возмущений в Северном полушарии во время геомагнитной бури с возмущениями термосферного молекулярного газа

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.А. Черниговская, к.ф.-м.н. Б.Г. Шпынев[†], к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич, к.ф.-м.н. Д.С. Хабитуев.

По скользящему спектру ULF-вариаций (Ultra-Low-Frequency) H -компоненты геомагнитного поля (ГМП) в период магнитной бури в марте 2015 г. (рис. 2.2.3.6.1, *а*) по данным среднеширотной цепи магнитометров INTERMAGNET в Северном полушарии отмечается возрастание амплитуды низкочастотной составляющей спектра вариаций H -компоненты ГМП за несколько часов перед событиями уменьшения $[O]/[N_2]$ в столбе термосферного газа выше ~100 км по данным GUVI TIMED (рис. 2.2.3.6.1, *б*).

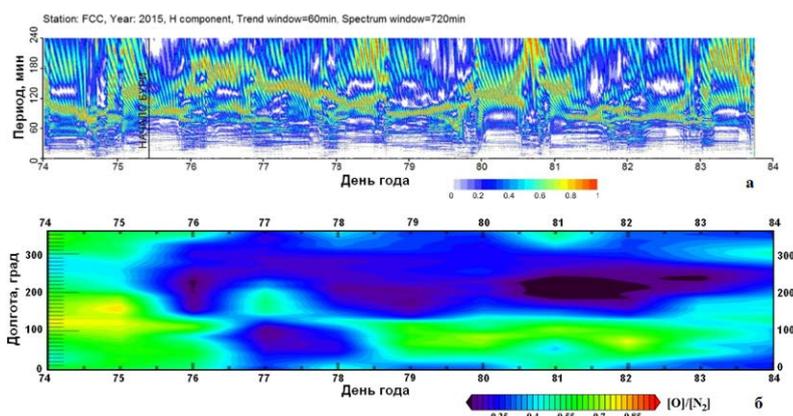


Рис. 2.2.3.6.1. Скользящий спектр вариаций ГМП для бури в марте 2015 г. по данным магнитометра Форты Черчилль (58.8° N, 94° W) (*а*). Межсуточные вариации $[O]/[N_2]$ вдоль среднеширотного круга 53.47° N (*б*)

Проведенный анализ подтвердил, что на фазе восстановления важную роль в динамике ионосферы средних широт (рис. 2.2.3.6.2, *а*) могут играть возмущения в виде термосферных волн молекулярного газа, распространяющихся в западном направлении в течение нескольких суток (рис. 2.2.3.6.2, *б*).

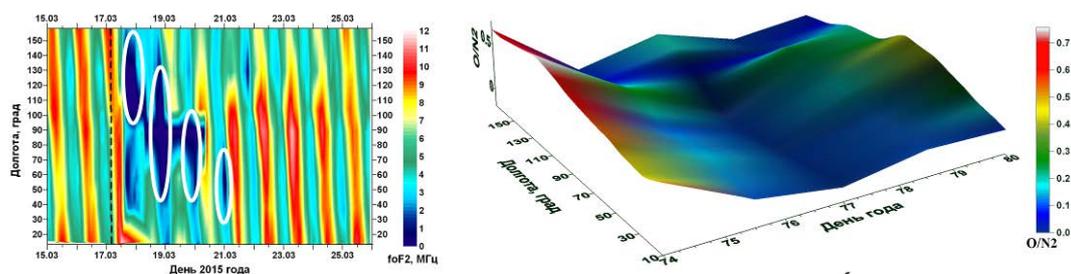


Рис. 2.2.3.6.2. Долготно-временные вариации f_oF_2 по данным цепи ионозондов в период бури 15–25 марта 2015 г. (*а*); долготно-временное распределение $[O]/[N_2]$ по измерениям GUVI TIMED для магнитной бури 17–25 марта 2015 г. (*б*)

Публикация:

Черниговская М.А., Шпынев Б.Г., Ясюкевич А.С., Хабитуев Д.С. Возмущения термосферного молекулярного газа и их связь с долготными неоднородностями ионосферных возмущений в Северном полушарии во время геомагнитной бури // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 5. С. 295–304. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-295-304.

2.2.3.7. Признаки аномального поведения ионосферы в 2003–2014 гг. на высотах слоя F1 над Иркутском

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. Г.П. Кушнарченко, О.Е. Яковлева, Г.М. Кузнецова.

Обнаружено аномальное повышение электронной концентрации N_e в зимние месяцы в Иркутске в отдельные годы 2003–2014 гг. Эффект проявился при сравнении экспериментальных значений $N_{e\text{ex}}$, полученных с помощью Иркутского дигизонда, с модельными расчетами $N_{e\text{clс}}$ на высотах слоя F1 (120–200 км), выполненных по модели ПЭМ, разработанной в ИСЗФ СО РАН. В качестве примера на рис. 2.2.3.7.1 показаны изменения отношения $r = N_{e\text{ex}}/N_{e\text{clс}}$ в зимние месяцы в 2003 и 2007 г. Значения $N_{e\text{ex}}$ аномально высоки в январе–феврале 2003 г.: r изменяется от 1.3 до 2.3, в то же время в 2007 г. величины r весь зимний период намного ниже. В результате анализа поведения отношения r в 2003–2014 гг. выявлены две аномальные временные зоны зимнего повышения N_e на высотах слоя F1. Первая охватывает 2003–2006 гг. и прилегает к периоду минимума солнечной активности. В этой зоне 2003 г. оказался годом максимального проявления зимнего повышения N_e по всему периоду исследований. Вторая аномальная зона (2012–2014 гг.) включает в себя год максимума солнечной активности. Исследованы возможные причины, влияющие на изменение N_e зимой на высотах слоя F1. Обнаружено, что основным фактором, вызывающим зимние аномальные повышения N_e в отмеченных временных зонах, являются значительные геомагнитные возмущения.

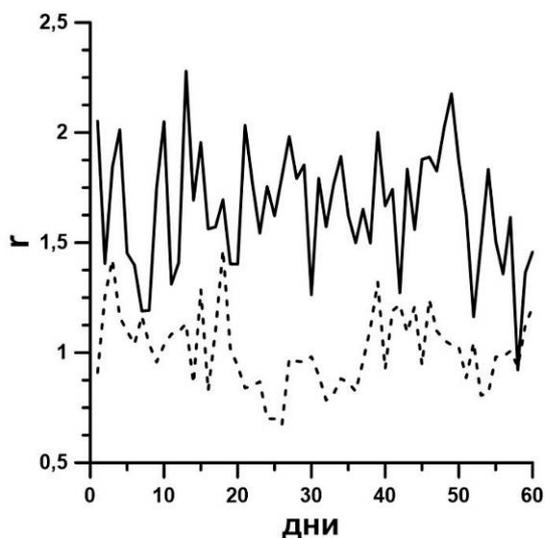


Рис. 2.2.3.7.1. Значения $r = N_{e\text{ex}}/N_{e\text{clс}}$ в 2003 г. (сплошная кривая) и в 2007 г. (штриховая кривая), 200 км, 12 LT. На оси X указаны номера зимних дней в году

Публикация:

Kushnarenko G.P., Yakovleva O.E., Kuznetsova G.M. Signs of anomalous behavior of the ionosphere in 2003–2014 at F1-layer heights over Irkutsk // Solar-Terr. Phys. 2021. Vol. 7, iss. 2. P. 74–80. DOI: 10.12737/stp-72202108.

2.2.3.8. Поведение электронной концентрации в ионосфере над Норильском в период спада солнечной активности

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — О.Е. Яковлева, к.ф.-м.н. Г.П. Кушнарченко, Г.М. Кузнецова.

С помощью полуэмпирической модели ПЭМ, разработанной в ИСЗФ СО РАН, выполнена аппроксимация массива электронной концентрации $N_{e\text{ ex}}$, полученного с помощью дигизонда в годы спада солнечной активности (2003–2006 гг.) на высокоширотной станции Норильск (69.4° N , 88.1° E). Расчеты выполнены с использованием новых коэффициентов, рассчитанных конкретно для станции Норильск. Получены высотные изменения годовых вариаций дневной $N_{e\text{ clc}}$ на высотах слоя F1 ионосферы (120–200 км). Пример вариаций N_e в 2003 г. приведен на рисунке 2.2.3.8.1. Аппроксимация экспериментальных данных вполне удовлетворительно описывает N_e на указанных высотах. Тем не менее, наблюдаются периоды, когда существуют достаточно отчетливые отклонения модельных величин от эксперимента. Присутствие в эти периоды значительных геомагнитных возмущений, возможно, является одной из причин таких отклонений.

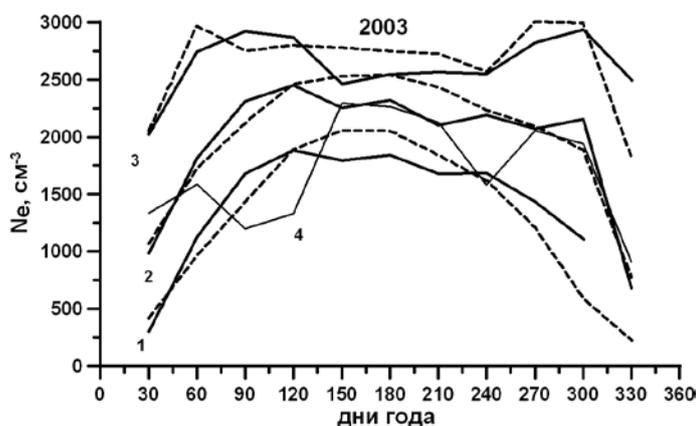


Рис. 2.2.3.8.1. Годовое изменение полуденных значений $N_{e\text{ clc}}$ в 2003 г. на высотах 150 км (1), 180 км (2) и 200 км (3). Штрихи — значения $N_{e\text{ ex}}$ на каждой высоте. Кривая (4) представляет значения N_e , полученные по модели IRI на высоте 200 км

Публикация:

Yakovleva O.E., Kushnarenko G.P., Kuznetsova G.M. Behavior of electron density in the ionosphere over Norilsk during the period of declining solar activity // Solar-Terr. Phys. 2021. Vol. 7, iss. 2. P. 70–73. DOI: 10.12737/stp-72202107.

2.2.3.9. Воздействие солнечных радиовспышек на стабильность приема сигналов GPS

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич¹, к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич¹, к.ф.-м.н. Э.И. Астафьева².

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — IGP, France

Исследовано воздействие солнечных вспышек, сопровождаемых радиовсплеском, на стабильность приема спутникового сигнала GPS. Рассмотрены радиовспышки 24 сентября 2011 г. (экстремальная) и 6 сентября 2017 г. (опасная). Отдельно анализировались сигналы для спутниковых блоков GPS старого образца и модернизированных спутнико-

вых блоков, отличающихся повышенной мощностью излучаемого сигнала на вспомогательной частоте L2.

На рис. 2.2.3.9.1, *a* приведено распределение плотности сбоев сопровождения спутникового сигнала на частоте L2 в приемнике в зависимости от угла места спутника и зенитного угла Солнца в течение 10-минутного периода вокруг пика вспышки 2011 г. Показано, что плотность сбоев зависит как от угла места спутника, так и зенитного угла Солнца, поскольку более низкий уровень сигнала при малом угле места увеличивает вероятность сбоев, так же как и более высокий поток излучения при малых зенитных углах. Большинство сбоев регистрируется при низких зенитных углах, обычно менее 40°. Отмечено, что для экстремальной радиовспышки наблюдались случаи сбоев сопровождения сигнала при зенитных углах Солнца около 30° даже при высоких углах места спутника.

В периоды указанных радиовспышек проанализирована динамика плотности сбоев сопровождения сигнала на основной (L1) и вспомогательной (L2) частотах GPS для модернизированных спутниковых блоков и блоков старого образца (рис. 2.2.3.9.1, *б-в*). Установлено, что во время обеих радиовспышек плотность сбоев (для модернизированных и старых спутников) зависит от зенитного угла Солнца, однако для основной частоты L1 эта зависимость менее выражена. В обоих случаях плотность сбоев на вспомогательной частоте L2 уменьшилась более чем в два раза для сигналов с модернизированных спутников. Сделан вывод, что повышение мощности излучаемого сигнала приводит к повышению стабильности приема сигналов и, как следствие, к возрастанию помехозащищенности системы в отношении как сильных, так и экстремальных всплесков солнечного радиоизлучения.

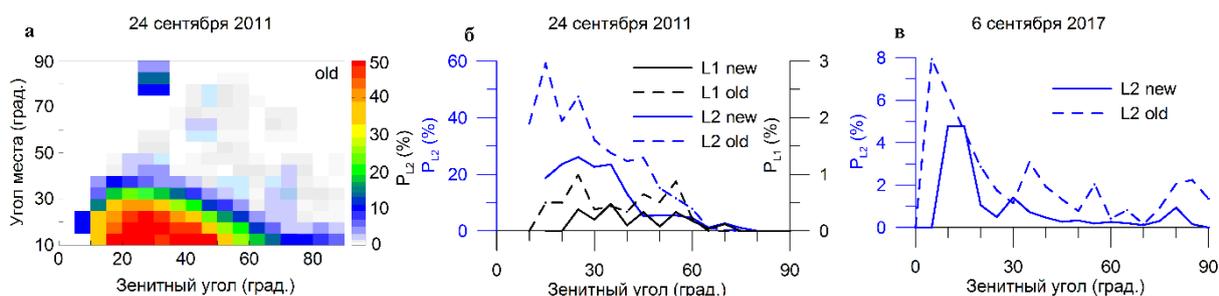


Рис. 2.2.3.9.1. Распределение плотности сбоев сопровождения сигнала L2 в зависимости от угла места спутника и зенитного угла Солнца для радиовспышки 2011 г. (*a*); динамика плотности сбоев в зависимости от зенитного угла Солнца в моменты пика радиовспышек 2011 г. (*б*) и 2017 г. (*в*) для сигналов L1 (черные кривые) и L2 (синие кривые), на модернизированных (сплошные кривые) и старых спутниковых блоках (штриховые кривые)

Публикация:

Yasyukevich Y.V., Yasyukevich A.S., Astafyeva E.I. How modernized and strengthened GPS signals enhance the system performance during solar radio bursts // GPS Solut. 2021. Vol. 25, 46. DOI: 10.1007/s10291-021-01091-5.

2.2.3.10. Отклик ионосферы на запуск ракеты-носителя Falcon Heavy по данным наземных приемников ГНСС

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.Б. Ишин¹, к.ф.-м.н. С.В. Воейков², А.В. Ключилов¹.

1 — *ИрННТУ*

2 — *ИСЗФ СО РАН*

Выполнен анализ вариаций полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере, полученных по данным наземных приемников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) во время запуска ракеты-носителя (РН) сверхтяжелого класса Falcon Heavy

6 февраля 2018 г. с космодрома Космического центра имени Кеннеди. Через 9 и 12 мин после старта в области непосредственного воздействия РН на ионосферу наблюдались положительное и отрицательное возмущения ПЭС соответственно (рис. 2.2.3.10.1, б, в). Через 33 мин зарегистрировано волновое возмущение с плоским фронтом, распространявшееся в юго-восточном направлении со скоростью ~ 700 м/с (рис. 2.2.3.10.1, г–е). Параметры возмущения ПЭС дают основание полагать, что оно является ионосферным проявлением ударно-акустической волны, которая генерировалась при сверхзвуковом движении ракеты. Особенностью настоящего эксперимента стало то, что волновой фронт ионосферного возмущения наблюдался только к югу от траектории РН. Такая анизотропия в направлении распространения возмущений ПЭС может быть связана со взаимным расположением линий магнитного поля, фронта ударно-акустической волны и траектории движения Falcon Heavy.

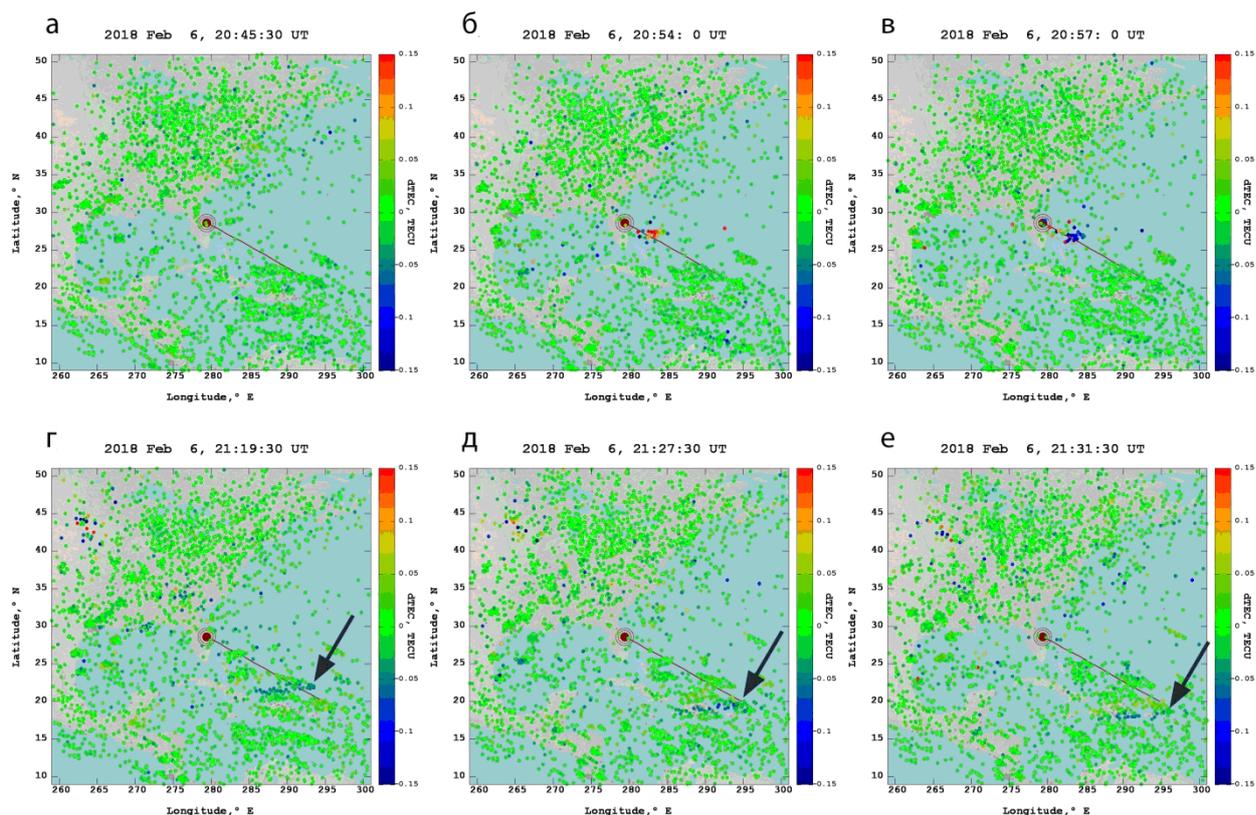


Рис. 2.2.3.10.1. Динамика возмущений ПЭС. Цвет точки показывает текущее значение отфильтрованных вариаций ПЭС в данной ионосферной точке. Красной линией отмечена траектория ракеты-носителя при взлете. Стрелкой обозначено волновое возмущение

Публикация:

Voeykov S.V., Klyusilov A.V., Ishin A.V. Ionospheric response to Falcon Heavy launching according to data of GPS receivers // Proc. SPIE. Vol. 11916: 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Phys. 2021. 119167Y. DOI: 10.1117/12.2603369.

2.2.3.11. Возмущения в ионосфере, вызванные извержением вулкана Пик Сарычева

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. Н.В. Шестаков^{1, 2}, А.В. Орляковский¹, д.ф.-м.н. Н.П. Перевалова³, Н.Н. Титков⁴, к.ф.-м.н. Д.В. Чебров⁴, М. Ohzono^{5,6}, Н. Takahashi⁵.

- 1 — ДВФУ
- 2 — ИПМ ДВО РАН
- 3 — ИСЗФ СО РАН
- 4 — КФ ФИЦ ЕГС РАН
- 5 — ISV HU
- 6 — ERI UT

По данным сетей наземных двухчастотных приемников ГНСС проведено исследование возмущений, вызванных в ионосфере извержением вулкана Пик Сарычева 11–16 июня 2009 г. Рассмотрены эруптивные события, произошедшие в 18:51 UT 14 июня и в 01:15 и 09:18 UT 15 июня. После всех событий обнаружены квазипериодические возмущения ПЭС в ионосфере с амплитудами 0.03–0.15 TECU и периодами 2.5–4.5 мин. Возмущения распространялись преимущественно в юго-западном направлении от вулкана. Скорость распространения возмущений варьировались от 700–1000 м/с в дальней зоне (300–900 км от вулкана) до 1300–1800 м/с в непосредственной близости от вулкана. Пример пространственно-временной эволюции возмущений ПЭС, инициированных извержением вулкана Пик Сарычева в 09:18 UT 15 июня 2009 г., приведен на рис. 2.2.3.11.1. Характеристики зарегистрированных возмущений ПЭС позволили сделать вывод, что эти возмущения обусловлены акустической модой внутренних атмосферных волн.

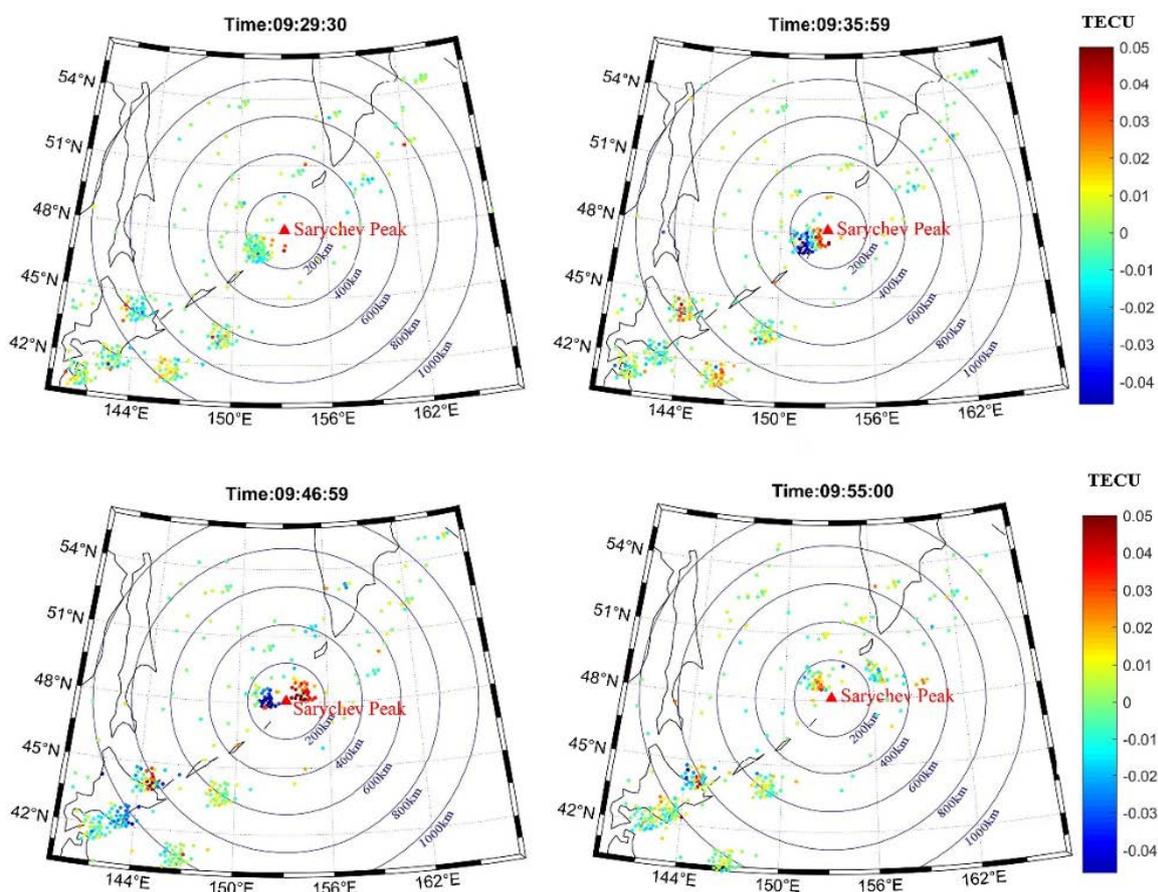


Рис. 2.2.3.11.1. Пространственно-временная динамика возмущений ПЭС, инициированных извержением вулкана Пик Сарычева в 09:18 UT 15 июня 2009 г. Красным треугольником показано местоположение вулкана Пик Сарычева. Цветная шкала представляет амплитуду возмущений ПЭС в TECU

Публикация:

Shestakov N., Orlyakovskiy A., Perevalova N., Titkov N., Chebrov D., Ohzono M., Takahashi H. Investigation of Ionospheric Response to June 2009 Sarychev Peak Volcano Eruption // Remote Sens. 2021. Vol. 13, no. 4, 638. DOI: 10.3390/rs13040638.

2.2.3.12. Морфологические свойства ионосферы Восточно-Азиатского региона при различных уровнях солнечной и геомагнитной активности

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — акад. Г.А. Жеребцов¹, д.ф.-м.н. Н.П. Перевалова¹, к.ф.-м.н. Н.М. Полех¹, к.ф.-м.н. Н.А. Золотухина¹, проф. Shi Jiankui².

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — NSSC CAS

Выполнено обобщение экспериментальных исследований морфологических свойств ионосферы Восточно-Азиатского региона при различных уровнях солнечной и геомагнитной активности. По результатам обобщения подготовлена монография. В монографии представлены наиболее важные результаты совместных российско-китайских исследований, проводившихся в Институте солнечно-земной физики СО РАН и Национальном центре космических исследований КАН в 2000–2017 гг. Кроме того, в монографию вошли выполненные вне этих совместных исследований работы, существенно дополняющие тематику изучения ионосферы в Восточно-Азиатском регионе. Основу исследований составляли данные вертикального зондирования (рис. 2.2.3.12.1). При проведении исследований использовались наземные и спутниковые данные, комплексный анализ которых позволил уточнить механизмы влияния межпланетных, магнитосферных и термосферных факторов на изменчивость ионосферы, оценить возможность использования существующих теоретических моделей для воспроизведения ее пространственно-временной динамики, а также указать возможные способы корректировки моделей для улучшения их диагностических и в перспективе прогностических свойств.

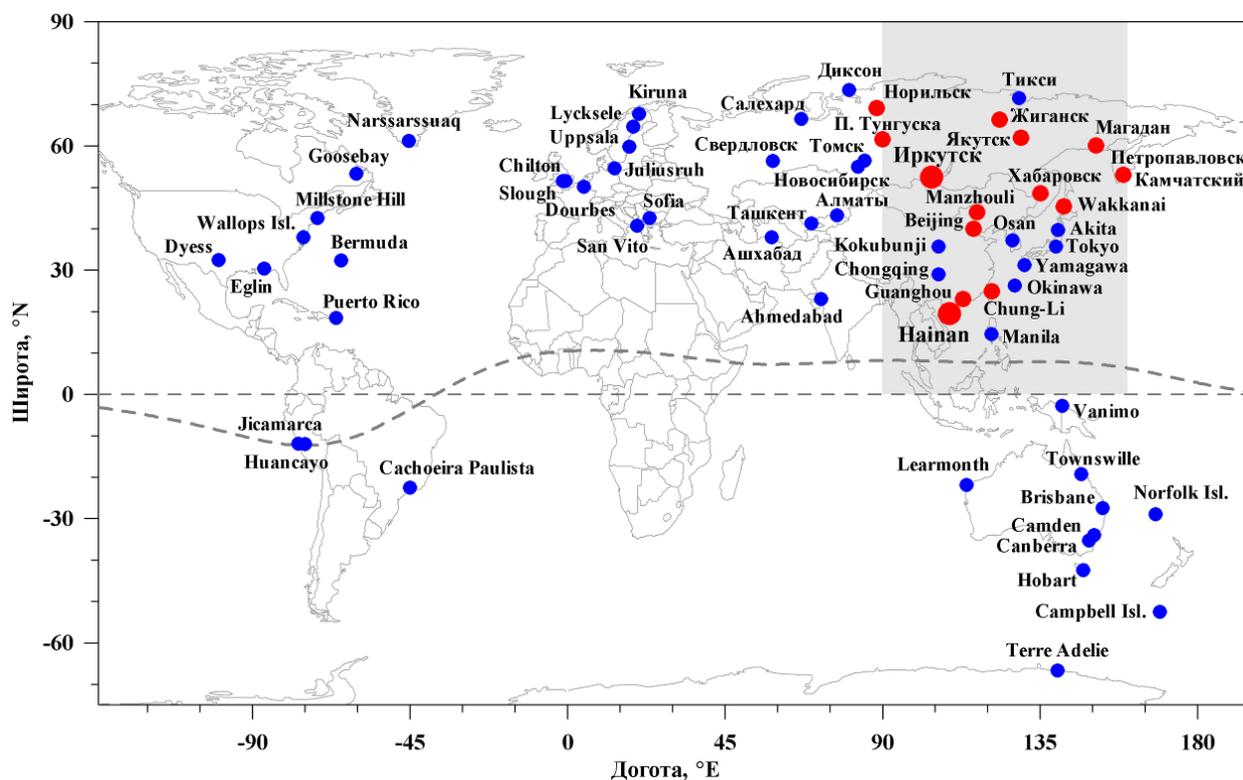


Рис. 2.2.3.12.1. Ионосферные станции, данные которых использовались в исследованиях морфологических свойств ионосферы Восточно-Азиатского региона (серая заливка)

Публикация:

Жеребцов Г.А., Shi Jiankui, Перевалова Н.П., Полех Н.М., Золотухина Н.А. Ионосферные возмущения в Восточно-Азиатском регионе. М.: ГЕОС, 2021. 338 с. ISBN 978-5-89118-833-4.

2.2.4. Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике

2.2.4.1. Исследование природы долгоживущего метеорного следа

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев, д.ф.-м.н. А.В. Михалев, Т.Е. Сыренова, М.Ф. Артамонов, к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий, Е.Г. Мерзляков, М.В. Цедрик, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный.

Набором оптических и радиофизических инструментов обсерваторий ИСЗФ был зарегистрирован долгоживущий след метеора из потока Леонид (комета 55P/Темпеля — Туттля), который рассеивался в атмосфере около получаса. Радиолокационные отражения, полученные метеорным радаром МК-31 НПО «Тайфун» и ЛЧМ-ионозондом ИСЗФ, на основе ранее опубликованных наблюдений подобных образований позволяют характеризовать след как пылевое облако. Трехмерная структура метеорного следа, полученная на основе стереоскопического анализа изображений широкоугольных камер, может быть объяснена высотным ветровым сдвигом, полученным метеорным радаром и интерферометром Фабри — Перо *in situ*. Существует также альтернативная точка зрения, которая предполагает, что форма следа может быть обусловлена кинетическим разлетом вещества метеороида в результате взрывной абляции. Проведенные оценки спектрального состава свечения указывают на то, что часть полной интенсивности свечения следа обусловлена излучением натрия и гидроксила, возникшего в результате химических реакций воды метеорного тела с атомарным кислородом мезопаузы, находящимся в возбуждении на первом электронном уровне $O(^1D)$.

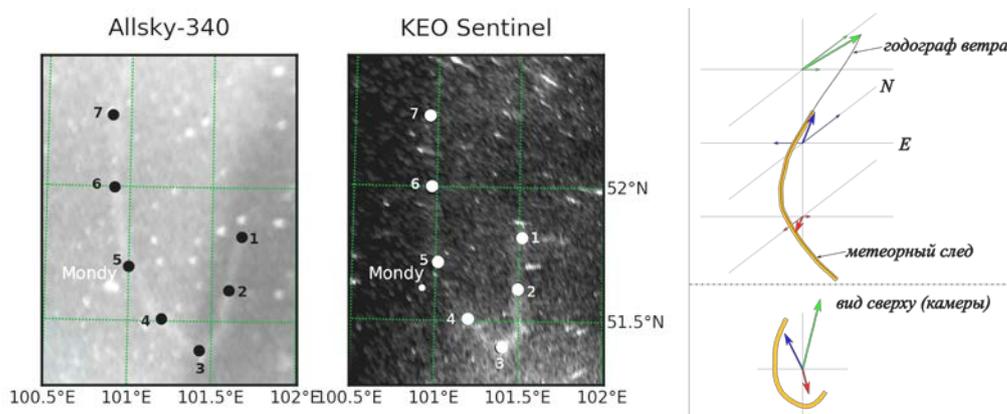


Рис. 2.2.4.1.1. Проекция метеорного следа на поверхность Земли, полученные двумя разными широкоугольными камерами (слева). Схема формирования следа ветровым сдвигом (справа); стрелки разного цвета показывают направление ветра на различных высотах

Публикации:

Vasilyev R.V., Syrenova T.E., Beletsky A.B., Artamonov M.F., Merzlyakov E.G., Podlesny A.V., Cedric M.V. Studying a long-lasting meteor trail from stereo images and radar data // Atmosphere. 2021. Vol. 12, 841. DOI: 10.3390/atmos12070841.

Михалев А.В. Долгоживущие метеорные следы, сформированные при радиальном расширении крупных метеороидов // Космические исследования. 2021. Т. 59, № 6. С. 1–6. DOI: 10.31857/S0023420621060066.

Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б., Васильев Р.В. Географическая привязка кадров широкоугольных оптических систем // Журнал технической физики. 2021, Т. 91, вып. 12. С. 1990–1996. DOI: 10.21883/JTF.2021.12.51765.172-21.

2.2.4.2. Стратосферное влияние на мезосферу — нижнюю термосферу над средними широтами по данным интерферометра Фабри — Перо

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева, к.ф.-м.н. Р.В. Васильев.

Изучена реакция мезосферы и нижней термосферы (МНТ) на внезапные стратосферные потепления (ВСП) и активность планетарных волн (ПВ) с помощью оптического излучения 557.7 нм. Излучение использовалось для определения ветра и температуры МНТ с помощью уникального для России инструмента — интерферометра Фабри — Перо (ИФП). ИФП расположен на средних широтах Восточной Сибири в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (п. Торы, 51.8° N, 103.1° E). Регулярный интерферометрический мониторинг начался в декабре 2016 г. В работе были проанализированы временные изменения интенсивности излучения 557.7 нм, а также колебания ветра и температуры, измеренные в зимние периоды 2016–2020 гг. Как ВСП, так и ПВ, по-видимому, вызывают одинаково сильные эффекты в верхних слоях атмосферы. Когда эмиссия 557.7 нм уменьшается из-за некоторых влияний снизу (ВСП или ПВ), температура МНТ значительно увеличивается, как и ее дисперсия. Дисперсия зонального ветра не показывает значительных изменений, связанных с ПВ и ВСП, но преобладающий зональный ветер МНТ меняет направление одновременно с усредненным зональным ветром на 60° N в стратосфере во время мажорных ВСП.

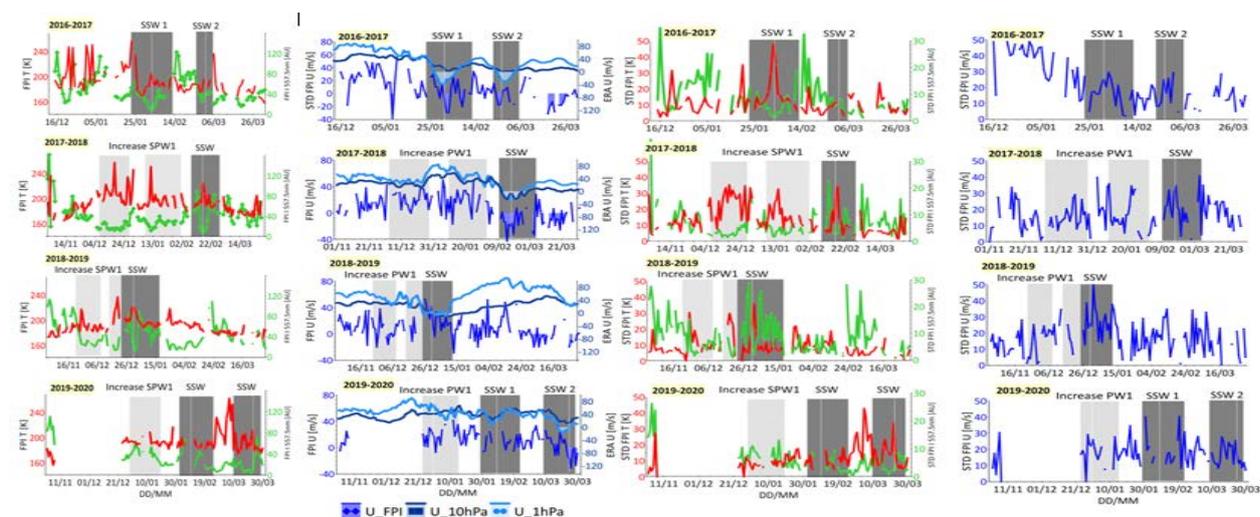


Рис. 2.2.4.2.1. Вариации среднечасовых значений и дисперсии температуры (красная кривая), эмиссии 557.7 нм (зеленая кривая), зонального ветра (синяя кривая) по данным ИФП, периоды ВСП отмечены темно-серым, периоды увеличения активности ПВ — светло-серым

Публикация:

Zorkaltseva O.S., Vasilyev R.V. Stratospheric influence on MLT over mid-latitudes in winter by Fabry – Perot interferometer data // Ann. Geophys. 2021. Vol. 39, P. 267–276. DOI: 10.5194/angeo-39-267-2021.

2.2.4.3. Сезонно-суточная динамика параметров нейтральной атмосферы Земли в Тункинской котловине

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — М.Ф. Артамонов, к.ф.-м.н. Р.В. Васильев, К.Е. Кириченко, А.В. Саункин.

Созданы усредненные карты сезонно-суточных вариаций температуры T_n , скоростей меридионального V и зонального U ветров, интенсивности свечения I , скорости верти-

кального ветра W для высоты 250 км (λ 630.0 нм), а также скоростей меридионального и зонального ветров для ~ 97 км (λ 557.7 нм). Было проведено сравнение полученных карт горизонтальных ветров и температур на высоте 250 км с данными моделей HWM14 и NRLMSISE-20 соответственно. Наблюдается хорошее соответствие температур и скоростей ветра, полученных с помощью интерферометра, с данными эмпирических моделей. Отклонения данных наблюдений и модельных данных можно объяснить отсутствием в использованных эмпирических моделях сведений о параметрах атмосферы Восточной Сибири, которые в настоящее время могут предоставляться на основе пятилетних наблюдений с помощью интерферометра Фабри — Перо.

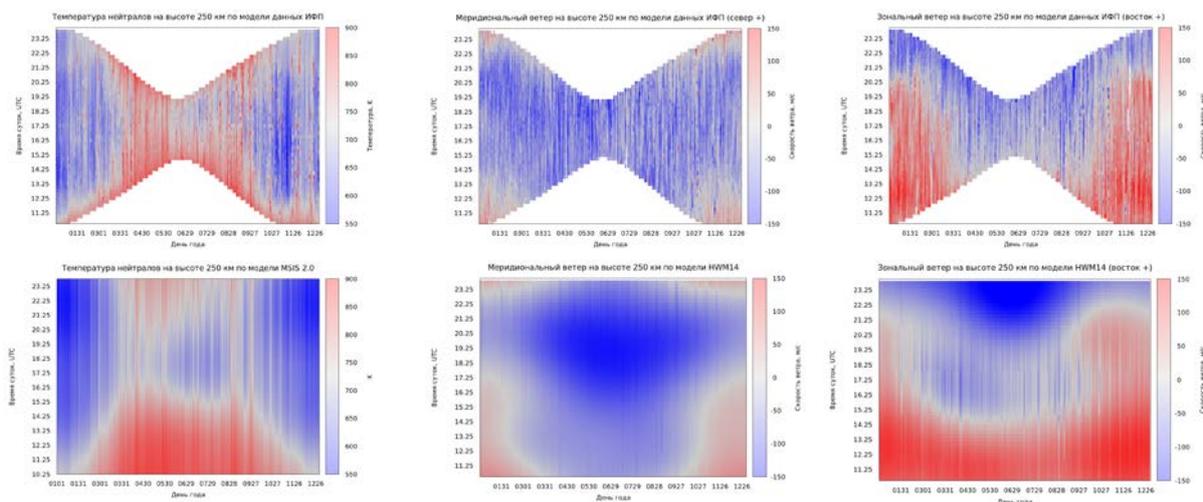


Рис. 2.2.4.3.1. Верхний ряд — карты сезонно-суточных вариаций температуры меридионального и зонального ветров, полученные с использованием интерферометра Фабри — Перо; нижний ряд — те же данные, полученные при помощи эмпирических моделей

Публикация:

Артамонов М.Ф., Васильев Р.В., Кириченко К.Е., Саункин А.В. Сезонно-суточная динамика параметров нейтральной атмосферы Земли в Тункинской котловине // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXVII Международного симпозиума. [Электронный ресурс]. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2021. 1 электронно-опт. диск. ISBN 978-5-94458-187-7, E-269-E273.

2.2.4.4. Исследование свечения атомарного кислорода на мезопаузе наземными и спутниковыми средствами

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — А.В. Саункин, к.ф.-м.н. Р.В. Васильев, к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева.

На основе данных микроволновых наблюдений с помощью орбитального лимбового радиометра SABER и простых аэрономических моделей получены профили интенсивности свечения атомарного кислорода (λ 557.7 нм). Полученные профили интенсивности совместно с данными интерферометра Фабри — Перо, установленного в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН, использовались для исследования динамики свечения и температуры атмосферы вблизи мезопаузы над Восточной Сибирью. Сравнение временных рядов данных, полученных наземным и спутниковым средством, показало, что в целом интенсивность свечения изменяется синхронно, за исключением периода с середины лета до конца осени, и в этот же период наблюдается рассогласование в поведении температур. По всей видимости, структура общепринятых аэрономических моделей, описывающих свечение атомарного кислорода в указанный период, должна быть скорректирована.

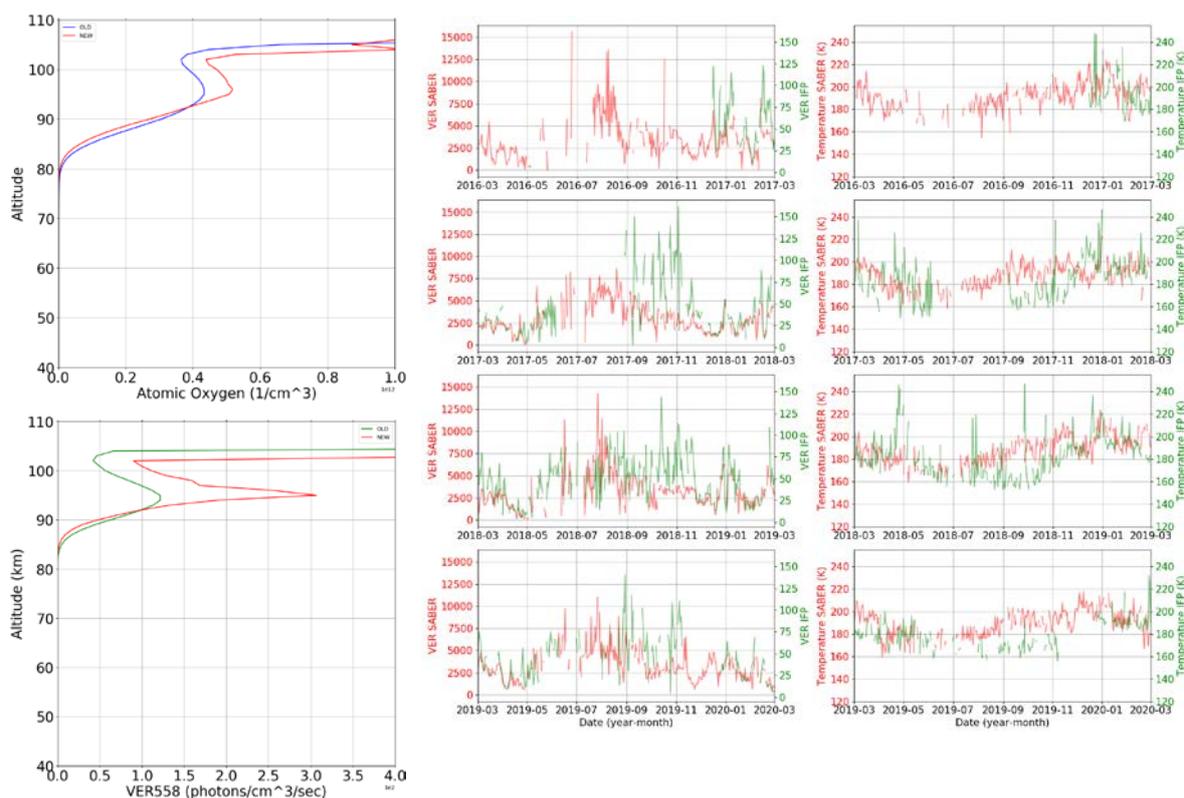


Рис. 2.2.4.4.1. Слева сверху — профиль атомарного кислорода, восстановленный из данных SABER двумя способами; слева внизу — профиль свечения атомарного кислорода, полученный на основании восстановленных профилей концентрации; в центре — динамика интенсивности; справа — динамика температуры за четыре года, полученная наземным и спутниковым средствами за четыре года

Публикация:

Saunkin A.V., Vasilyev R.V., Zorkaltseva O.S. Airglow intensity of atomic oxygen 557.7 nm according to satellite and ground-based observations over Eastern Siberia // Proc. SPIE. Vol. 11916: 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. Pt. 3. 2021. P. 11916-235, article number 1191682. DOI: 10.1117/12.2603386.

2.2.4.5. Динамика аэрозоля в Байкальском регионе

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.А. Тащилин¹, И.П. Яковлева¹, д.ф.-м.н. С.М. Сакерин²

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — ИОА СО РАН

Проведенное сопоставление спутниковых данных MODIS с результатами наземных измерений солнечным фотометром CIMEL-318 для аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы показало их хорошее согласие: коэффициент корреляции 0.87 и среднеквадратичное отклонение 0.05. Сделан вывод о соответствии спутниковых данных заявленному уровню погрешности и целесообразности использования многолетних среднемесячных значений АОТ для оценки пространственно-временных вариаций АОТ атмосферы.

Анализ пространственно-временных вариаций АОТ атмосферы в Байкальском регионе позволил выявить следующие особенности. В межгодовой изменчивости наблюдаются общие тенденции изменчивости АОТ: максимальные замутнения атмосферы получены в 2008, 2012 и 2014 г., минимальные — в 2013 и 2016 г. с абсолютным минимумом в 2010 г. Среднее многолетнее значение АОТ для Байкальского региона (0.17) хорошо согласуется со среднегодо-

вым глобальным значением АОТ (0.16), полученным ранее по спутниковым данным MODIS, TOMS, AVHRR. Для рассматриваемого 15-летнего периода наблюдается постепенное улучшение прозрачности атмосферы: выявлен линейный отрицательный тренд с общей тенденцией уменьшения на 0.034 при среднем значении 0.173. Отмечается факт уменьшения значений АОТ с ростом широты с градиентом $\Delta\tau = 0.002 \pm 0.001$ на градус широты.

Общей закономерностью сезонных вариаций среднемесячных значений АОТ для шести пунктов наблюдений является спад АОТ от весны к осени с повторным максимумом в летний период. Относительное изменение от июня к ноябрю в среднем составляет более 60 %. Получено, что Байкальский регион относится к группе регионов, для которых отмечается сезонный ход прозрачности атмосферы с минимумом в весенне-летний и максимумом в осенне-зимний периоды.

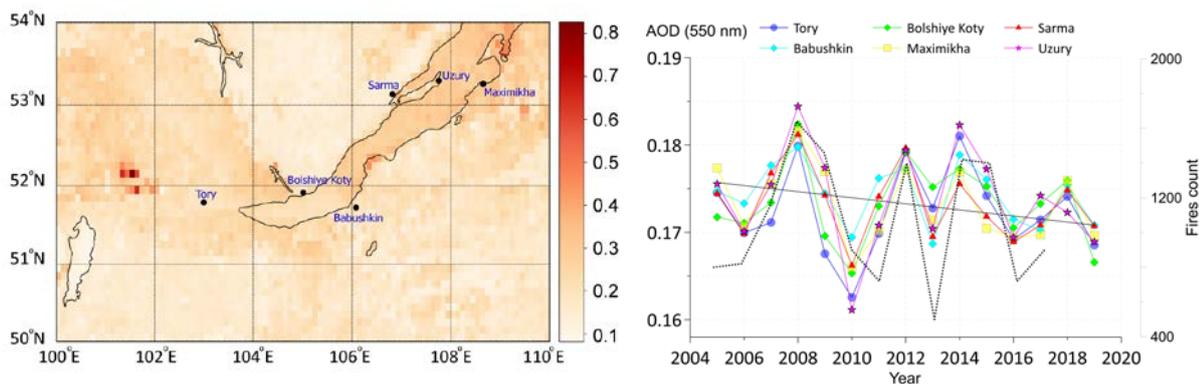


Рис. 2.2.4.5.1. Карта, отражающая распределение значений АОТ в Байкальском регионе (слева); динамика среднегодовых значений АОТ в Байкальском регионе.

Публикация:

Тащилин М.А., Яковлева И.П., Сакерин С.М. Пространственно-временные вариации аэрозольной оптической толщи в Байкальском регионе // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 1. С. 219–226. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-219-226.

2.2.4.6. Кластеризация координат отдельных молниевых разрядов для исследования гроз

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — И.Д. Ткачёв, к.ф.-м.н. Р.В. Васильев Р.В., к.г.н. Е.П. Белоусова.

Специализированные сети для регистрации ОНЧ-радиосигналов от молниевых разрядов, предназначенные для мониторинга и исследования грозовой активности, существуют достаточно давно, например, глобальная сеть с открытым доступом WWLLN или сеть Vaisala, оказывающая платные услуги. Грозопеленгационная сеть «Верея-МР», развернутая в средних широтах на территории России и предоставлявшая сведения различным организациям, проработала с 2012 по 2018 г. и в настоящее время бездействует. База данных этой сети представляет определенный интерес для проведения научных изысканий. Автором было проведено исследование грозовой активности в Байкальском регионе на основе базы данных сети «Верея-МР». Исследование показало, что наиболее активным регионом генезиса гроз на Байкальской природной территории являются горные районы, в большей степени предгорье Восточного Саяна на ее юго-западе. Полученные с помощью грозопеленгационной сети «Верея-МР» пространственно-временные характеристики гроз на Байкальской природной территории в целом не отличаются от характеристик гроз на всей территории РФ, однако их мощность несколько ниже.

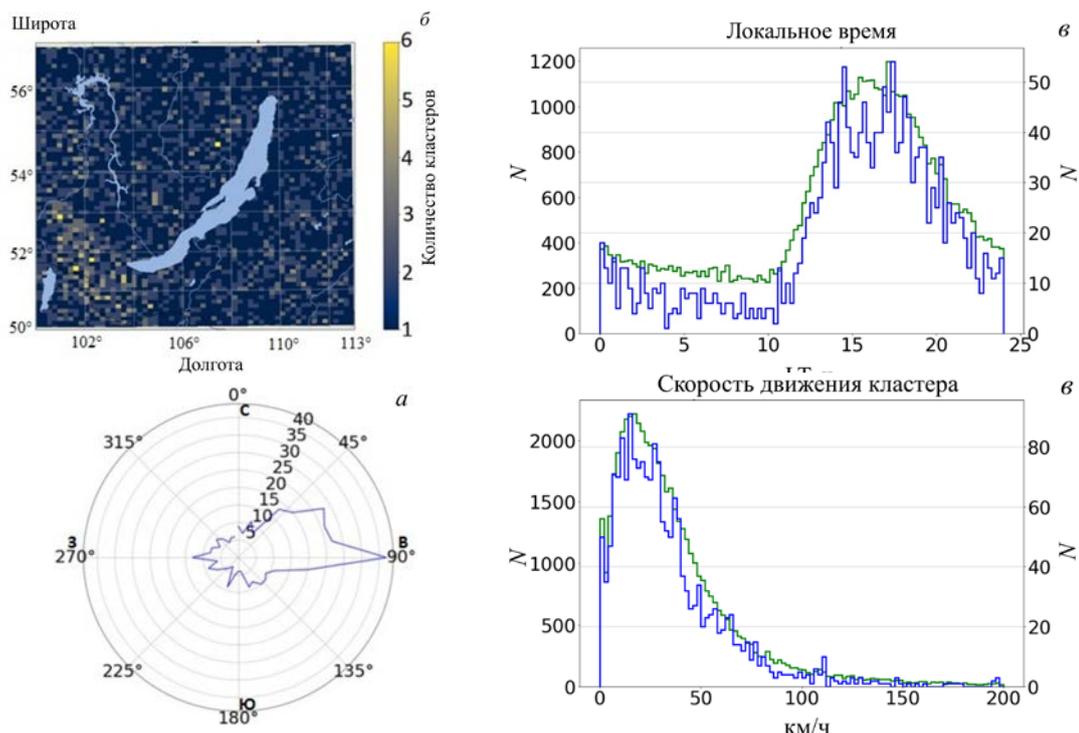


Рис. 2.2.4.6.1. Пространственное распределение гроз в Байкальском регионе (слева сверху);— распределение гроз по локальному времени (справа сверху); внизу — распределение направлений (слева) и скоростей (справа) перемещения гроз в Байкальском регионе

Публикация:

Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Белоусова Е.П. Кластерный анализ молниевых разрядов по данным грозопеленгационной сети «Веря-МР» // Солнечно-земная физика. Т. 7, № 4. С. 91–98. DOI: 10.12737/szf-74202109.

2.2.5. Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера

2.2.5.1. Многоспутниковые наблюдения альфвеновских волн, генерируемых градиентной неустойчивостью и находящихся в баунс-дрейфовом резонансе с энергичными протонами кольцевого тока

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — О.В. Магер.

Спутники TNA, TND, TNE миссии THEMIS последовательно регистрировали квазимонохроматические полоидальные колебания диапазона Pc4–5 в ночной магнитосфере. Волновая активность регистрировалась в области инжектированных после суббури частиц, в области кольцевого тока. По данным спутника TNA, одновременно регистрировались основная и вторая гармоника полоидальных альфвеновских мод на частотах около 7 и 18 МГц соответственно. Спутники TND и TNE зарегистрировали только вторую гармонику полоидальных альфвеновских мод, а также модуляции потоков протонов с энергиями около 50 кэВ на частоте гармоники. Для этой волны второй гармоники азимутальное волновое число $m=54$ было оценено с использованием фазовых задержек колебаний потоков протонов с различающимися гирофазами. Показано, что волна находилась в баунс-дрейфовом резонансе с протонами с энергиями 46 кэВ и генерировалась из-за резонансной неустойчивости, вызванной неравновесным распределением протонов кольцевого тока со значительным направленным к Земле пространственным градиентом при резонансной энергии (рис. 2.2.5.1.1).

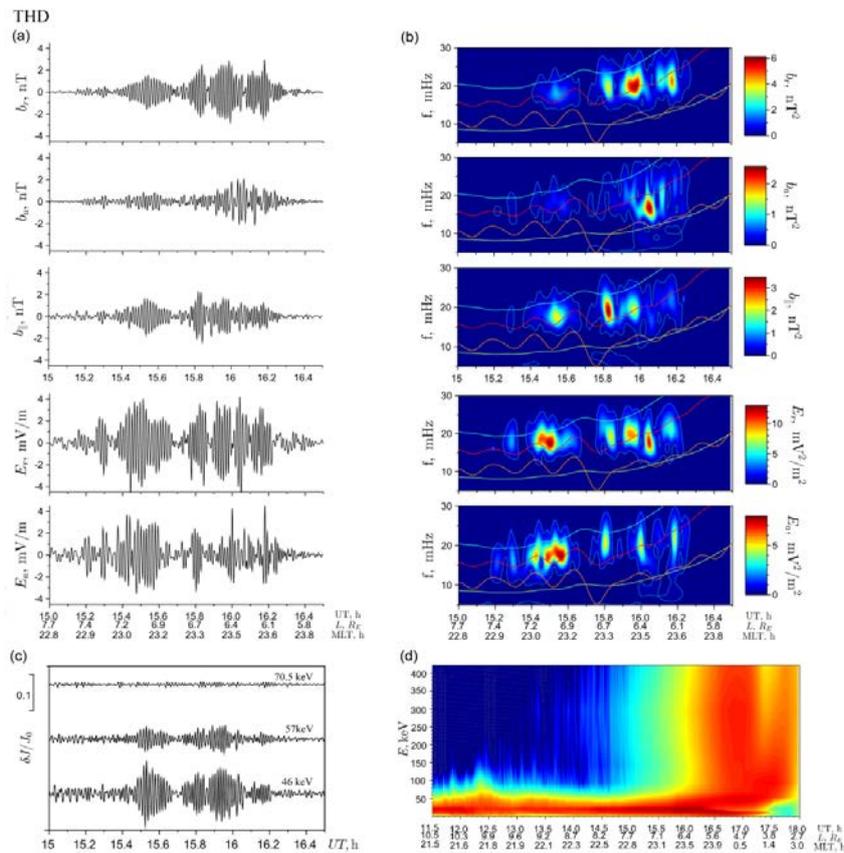


Рис. 2.2.5.1.1. По данным спутника THD показаны: *a* — колебания радиальной b_r , азимутальной b_a и продольной $b_{||}$ компонент магнитного поля и радиальной E_r , азимутальной E_a компонент электрического поля; *b* — их динамические спектры: цветные линии — рассчитанные собственные альфвеновские частоты; *c* — возмущение дифференциальных потоков ионов $\delta J/J_0$ для энергий от 46 до 70.5 кэВ; *d* — дифференциальные потоки ионов в диапазоне энергий 1–450 кэВ

Публикация:

Mager O.V. Alfvén waves generated through the drift-bounce resonant instability in the ring current: A THEMIS multi-spacecraft case study // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2021. Vol. 126, e2021JA029241. DOI: 10.1029/2021JA029241.

2.2.5.2. Наблюдение компрессионных УНЧ-волн на Екатеринбургском среднеширотном когерентном радаре

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результатов — к.ф.-м.н. М.А. Челпанов, О.В. Магер.

Представлен обзор исследований ультранизкочастотных волн с помощью Екатеринбургского среднеширотного когерентного декаметрового радара (ЕКВ). В ходе эксперимента, проведенного в 2013–2015 гг., были последовательно обследованы три луча ЕКВ со временем интегрирования 6 с, обеспечивающим временное разрешение 18 с для каждого луча. В нескольких случаях данные, полученные в ночной ионосфере, показали признаки дрейфовой компрессионной моды. В одном из них волна продемонстрировала четкую зависимость частоты от азимутального волнового числа, что соответствует теории дрейфовых компрессионных волн. В другом случае было показано слияние дрейфовой компрессионной и альфвеновской мод при некотором критическом значении азимутального волнового числа. Ряд частот наблюдаемых волн был сопоставлен с альфвеновскими частотами, полученными на основе спутниковых данных. Результаты показали, что в значительной части случаев волны имели субальфвеновские частоты. Этот вывод согласуется с предположением, что часть волн, наблюдаемых с помощью радара, должна быть идентифициро-

вана с дрейфово-компрессионной модой, частота которой может быть ниже частоты резонанса линии поля. Кроме того, был представлен случай одновременного наблюдения волн с помощью космических аппаратов и радара. Поскольку волна имела полоидальную структуру, диамагнитные свойства и ее частота была значительно ниже минимальной частоты альфвеновской волны, предполагалось, что это была дрейфовая компрессионная мода.

Публикация:

Chelpanov M.A., Mager O.V. Observing drift compressional waves in the nightside ionosphere using the Ekaterinburg radar // *Polar Sci.* 2020. Vol. 28, 100630. DOI: 10.1016/j.polar.2020.100630.

2.2.5.3. Физические процессы в ионном форшоке околоземной ударной волны: теоретическая модель и наблюдательные данные

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — д.ф.-м.н. Г.Н. Кичигин[†].

Рассматриваются процессы, связанные с образованием перед фронтом околоземной бесстолкновительной ударной волны так называемой форшок-области. В рамках предлагаемой теоретической модели показано, что на фронте ударной волны происходит ускорение ионов до значительных энергий. Выясняются физические условия, при которых эти ускоренные в ударном фронте ионы в итоге оказываются перед фронтом ударной волны и удаляются от него, вследствие чего их иногда относят к категории отраженных ионов. Делается вывод о том, что именно эта популяция отраженных энергичных ионов (чаще всего их называют продольными пучками — field-aligned beams) играет основную роль в формировании границы ионного форшока. Основные свойства продольных пучков, следующие из рассматриваемой модели, сравниваются с наблюдательными данными, полученными с помощью космических аппаратов.

Публикация:

Кичигин Г.Н. Ионный форшок околоземной ударной волны: теоретическая модель и наблюдательные данные // *Геомагнетизм и аэрономия.* 2021. Т. 61, № 3. С. 309–315. DOI: 10.31857/S001679402103007X.

2.2.5.4. Морфология и диагностический потенциал ионосферного альвеновского резонатора

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.С. Потапов¹, Т.Н. Полюшкина¹, к.ф.-м.н. Б. Цэгмэд².

1 — *ИСЗФ СО РАН*

2 — *ИАГ АН Монголии*

Слоистость ионосферы приводит к образованию различного рода резонаторов и волноводов. Одним из наиболее известных является ионосферный альвеновский резонатор (ИАР), излучение которого может наблюдаться на земной поверхности и в космосе в виде веерообразного набора дискретных спектральных полос (ДСП), частота которых плавно меняется в течение суток. Полосы формируются альвеновскими волнами, захваченными между нижней частью ионосферы и перегибом высотного профиля альвеновской скорости в области перехода от ионосферы к магнитосфере. ИАР является одним из важных механизмов ионосферно-магнитосферного взаимодействия. Частота излучения лежит в диапазоне от десятых долей герца до примерно 8 Гц — частоты первой гармоники шумановского резонанса. В обзоре подробно описана морфология явления. Подчеркивается, что излучение ИАР является перманентным явлением, вероятность наблюдения которого

в первую очередь определяется чувствительностью аппаратуры и отсутствием помех естественного и искусственного происхождения. Ежедневная длительность наблюдения ДСП зависит от условий освещенности нижней ионосферы: полосы хорошо видны только тогда, когда слой D затенен. Систематизированы многочисленные теоретические модели ИАР. Все они основаны на анализе возбуждения и распространения альфвеновских волн в неоднородной ионосферной плазме и различаются в основном источниками генерации колебаний и методами учета различных факторов, таких как взаимодействие волновых мод, дипольная геометрия магнитного поля, частотная дисперсия волн. Предсказываемая всеми моделями резонатора и многократно подтвержденная экспериментально тесная связь изменений частоты ДСП с вариациями критической частоты foF2 служит основой поиска способов определения в реальном времени электронной концентрации ионосферы по измерениям частоты излучения ИАР. Возможна также оценка профиля ионного состава над ионосферой по данным о частотной структуре излучения ИАР. В обзоре уделяется внимание и другим результатам из широкого диапазона исследований ИАР. Упомянуты результаты, выявившие влияние ориентации межпланетного магнитного поля на колебания резонатора, и факты воздействия на ИАР сейсмических возмущений.

Публикация: Потапов А.С., Полюшкина Т.Н., Цэгмэд Б. Морфология и диагностический потенциал ионосферного альвеновского резонатора // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 3. С. 39–56. DOI: 10.12737/szf73202104.

2.2.5.5. Теория частотно-модулированных ультранизкочастотных волн в околоземном космическом пространстве

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — д.ф.-м.н., профессор А.В. Гульельми¹, д.ф.-м.н. А.С. Потапов².

1 — ИФЗ РАН

2 — ИСЗФ СО РАН

Рассмотрена теория и экспериментальные данные по ультранизкочастотным электромагнитным волнам естественного происхождения. Рассмотрено многообразие частотно-модулированных волн, источники которых располагаются в ионосфере, в радиационном поясе, на периферии магнитосферы и в солнечном ветре перед фронтом магнитосферы. Основное внимание уделено механизмам формирования частотной модуляции. Анализ частотной модуляции дает нам информацию о процессах возбуждения и распространения волн, а также о физических условиях в местах возбуждения и на трассах распространения. Указаны актуальные открытые проблемы физики частотно-модулированных волн.

Публикация: Гульельми А.В., Потапов А.С. Частотно-модулированные ультранизкочастотные волны в околоземном космическом пространстве // УФН. 2021. Т. 191, № 5. С. 475–491. DOI: 10.3367/UFNr.2020.06.038777.

2.2.5.6. Кинетические альфвеновские волны вблизи диссипативного слоя

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.С. Леонович, к.ф.-м.н. Д.А. Козлов, А.А. Власов.

Исследована пространственная структура кинетических альфвеновских волн вблизи диссипативного слоя. В диссипативном слое происходит изменение типа дисперсии кинетических альфвеновских волн: от холодной, при которой характерная поперечная длина волны (поперек магнитных оболочек) определяется скин-длиной электронов плазмы, к теплой, при которой длина волны определяется ларморовским радиусом ионов. Характерная поперечная длина кинетической альфвеновской волны в диссипативном слое комплексная, что обусловлено ее сильной диссипацией при взаимодействии с электронами

фоновой плазмы. Рассмотрены особенности фазовых сдвигов между поперечными компонентами электромагнитного поля альфвеновских колебаний (рис. 2.2.5.6.1). Сдвиг фаз может использоваться для идентификации типа альфвеновских волн, наблюдаемых на спутниках в окрестности диссипативного слоя. Поглощение энергии альфвеновских волн в диссипативном слое может приводить к формированию потока электронов (с энергиями 2–5 эВ) в ионосферу и инициировать красные дуги полярных сияний. Предложена аналитическая формула для определения плотности направленного к ионосфере потока электронов и потока переносимой ими энергии.

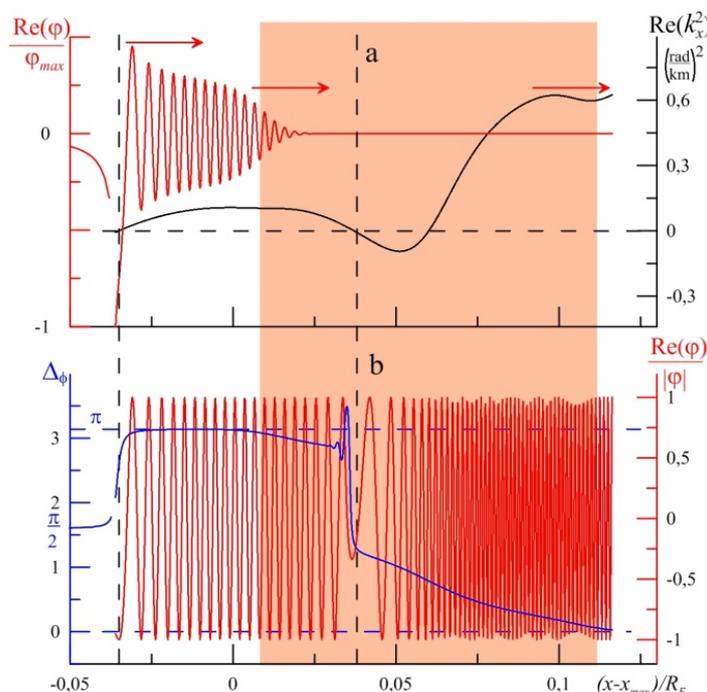


Рис. 2.2.5.6.1. Пространственная структура резонансной кинетической альфвеновской волны, которая поглощается в диссипативном слое (показан бежевой полосой), расположенном на некотором расстоянии от резонансной поверхности (вертикальная штриховая линия): *a* — структура скалярного потенциала (красная линия) и квадрата ВКБ-компоненты волнового вектора (черная линия); *b* — структура нормированного потенциала (красная линия) и сдвиг фаз поперечных компонент поля колебаний (синяя линия)

Публикация:

Leonovich A.S., Kozlov D.A., Vlasov A.A. Kinetic Alfvén waves near a dissipative layer // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2021. Vol. 126, e2021JA029580. DOI: 10.1029/2021JA029580.

2.2.5.7. Поле альфвеновских колебаний, генерируемых ударной волной вблизи плазмопаузы

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.С. Леонович¹, к.ф.-м.н. Д.А. Козлов¹, Q.-G. Zong², И.П. Котовщиков³.

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — Peking University

3 — ИГУ

Дана теоретическая интерпретация МГД-колебаний, зарегистрированных 7 ноября 2004 г. вблизи плазмопаузы на спутниках GOES и Cluster, до и после прохождения по магнитосфере (~18:27 UT) межпланетной ударной волны. Показано, что после прохождения фронта ударной волны спектры МГД-колебаний, зарегистрированные на спутниках

Cluster, находящихся внутри плазмосферы, и GOES, расположенных вне плазмосферы, существенно различны. В соответствии с предложенной интерпретацией эти различия обусловлены тем, что при взаимодействии фронта ударной волны с плазмопаузой возбуждаются широкополосные резонансные альфвеновские волны, которые существенно меняют спектр МГД-колебаний вблизи плазмопаузы. Для численного исследования МГД-колебаний в дневной магнитосфере разработана ее модель в виде плазменного цилиндра (см. рис. 2.2.5.7.1). Предложена аналитическая модель источника резонансных альфвеновских волн в виде двух бегущих по плазмопаузе пакетов быстрых магнитозвуковых волн, которые возникают при воздействии ударной волны на плазмопаузу. Численные расчеты параметров возбуждаемых таким источником альфвеновских волн, проведенные в рамках данной модели, показывают хорошее согласие с параметрами колебаний, наблюдаемых на спутниках.

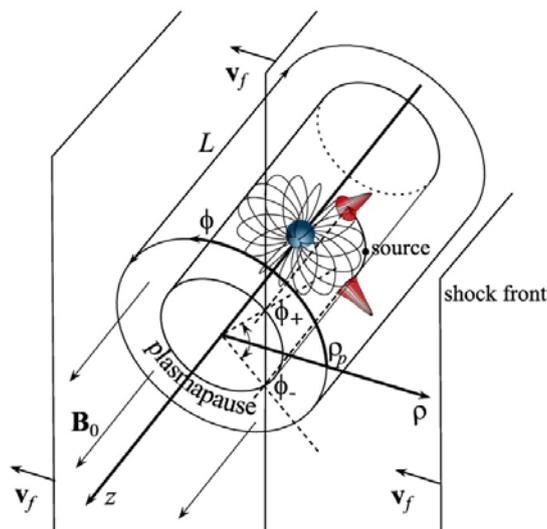


Рис. 2.2.5.7.1. Цилиндрическая модель дневной магнитосферы. Схематически показано движение по плазмопаузе локализованных волновых пакетов, генерируемых при взаимодействии фронта ударной волны с плазмосферой

Публикация:

Leonovich A.S., Zong Q.-G., Kozlov D.A., Kotovschikov I. P. The field of shock-generated Alfvén oscillations near the plasmaopause // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2021. Vol. 126, e2021JA029488. DOI: 10.1029/2021JA029488.

2.2.5.8. Затухающие возмущения в бесстолкновительных звездных системах

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — д.ф.-м.н. И.Г. Шухман¹, Е.В. Polyachenko², О.И. Borodina².

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — ИНАСАН

Исследуется вопрос затухания начальных возмущений в динамически устойчивых системах. Эта работа стимулирована недавними работами, в которых на основе численного N-body-моделирования изучается характер затухания начальных возмущений в некоторых моделях звездных систем. Цель нашего анализа — интерпретация результатов и помощь в корректной постановке аналогичных численных экспериментов в будущем. Мы вводим понятие *истинных* затухающих мод и *квазимод*, т. е. возмущений, затухающих согласно механизму затухания Ландау. Их принципиальное отличие состоит в следующем. Истинная затухающая мода, собственная функция которой $F(v)$, будучи заданной как начальное возмущение функции распределения по скорости v в момент времени $t = 0$, затухает с самого начала по закону $f(v, t) = F(v)\exp(-i\omega t)$, т. е. без изменения формы. Здесь $\omega = \omega_R - i\gamma$ — комплексная собственная частота затухающей моды. Возмущение, затухающее по Ландау, тоже убывает экспоненци-

ально, однако на такой режим оно выходит лишь асимптотически. Такое возмущение не имеет собственной функции и в принципе не может быть создано в качестве начального возмущения. Оно фактически не является собственной модой, а представляет собой суперпозицию сингулярных собственных мод непрерывного вещественного спектра частот — так называемых мод ван Кампена. В процессе эволюции такое возмущение становится очень изрезанным в пространстве скоростей, причем амплитуда начального возмущения не убывает, однако возмущенная плотность и связанное с ней возмущение гравитационного поля затухают по Ландау. На примерах прослежена эволюция разных типов начальных возмущений и наглядно проиллюстрировано различие в характере их эволюции.

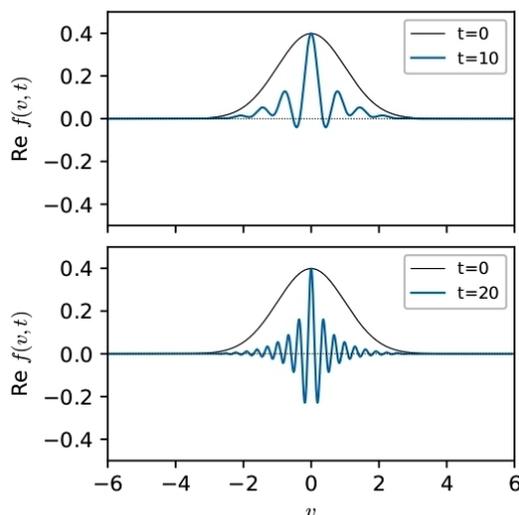


Рис. 2.2.5.8.1. Деформация начального возмущения функции распределения звезд $f(v, t)$ (тонкая черная линия) в моменты времени $t=10$ (вверху) и $t=20$ (внизу) в процессе затухания Ландау. Функция становится сильно изрезанной в пространстве скоростей, хотя ее максимальное значение не меняется. Плотность и гравитационное поле затухают экспоненциально с декрементом Ландау γ

Публикация:

Polyachenko E.V., Shukhman I.G., Borodina O.I. Damped perturbations in stellar systems: Genuine modes and Landau-damped waves // MNRAS. 2021. Vol. 503. P. 660–668. DOI: 10.1093/mnras/stab537.

2.2.5.9. Интегральные уравнения для задач о распространении волн в околоземной плазме

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — к.ф.-м.н. Д.В. Костарев, к.ф.-м.н. П.Н. Магер, к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин.

Рассмотрены решения двух интегродифференциальных уравнений, описывающих волны сверхнизкой частоты в дипольной модели магнитосферы в рамках гирокинетического формализма. Первый сводится к однородному уравнению Фредгольма второго рода. Это уравнение описывает структуру параллельной составляющей магнитного поля дрейфово-компрессионных волн вдоль магнитного поля Земли. Второе уравнение сводится к неоднородному уравнению Фредгольма второго рода. Это уравнение описывает выровненную по полю структуру потенциала параллельного электрического поля волн Альфвена. Оба интегральных уравнения решаются численно. Получены значения собственных частот и инкрементов неустойчивостей соответствующих УНЧ-мод.

Публикация:

Kostarev D., Klimushkin D., Mager P. Integral equations for problems on wave propagation in near-earth plasma // Symmetry. 2021. Vol. 13, 1395. DOI: 10.3390/sym13081395.

2.2.5.10. Изучение особенностей безотражательного распространения волн в пространственно-неоднородных течениях

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — д.ф.-м.н. С.М. Чурилов¹, д.ф.-м.н. Ю.А. Степанянц^{2,3}.

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

3 — University of Southern Queensland, Toowoomba, Australia

В линейном приближении исследованы условия, при которых распространение волн в неоднородном течении со скоростью $U(x) > 0$ в мелком канале, ширина которого $W(x)$ и профиль дна $B(x)$ меняются вдоль направления течения (рис. 2.2.5.10.1), происходит без отражения. Найдены два класса безотражательных течений. В первом из них скорости течения $U(x)$ и распространения волн $c(x) = \sqrt{gH(x)}$, где g — ускорение силы тяжести, связаны простым соотношением $c(x)U(x) = \text{const}$, допускающим широкое разнообразие течений. Во втором классе связь между $U(x)$ и $c(x)$ описывается сингулярным дифференциальным уравнением, решения которого подробно исследованы и найдены условия, при которых есть глобальные решения, определенные на всей оси X .

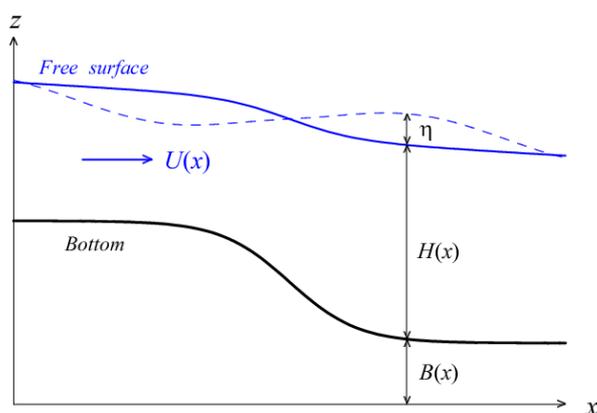


Рис. 2.2.5.10.1. Схема конфигурации течения в вертикальной плоскости. Штриховой линией показана возмущенная поверхность

Публикации:

Churilov S.M., Stepanyants Yu.A. Hydrodynamic models of astrophysical wormholes: The general concept // Phys. Fluids. 2021. Vol. 33, 077121. DOI: 10.1063/5.0056877.

Churilov S.M., Stepanyants Yu.A. Reflectionless wave propagation on shallow water with variable bathymetry and current // J. Fluid Mech. 2022. Vol. 931, A15. DOI: 10.1017/jfm.2021.935.

2.2.5.11. О групповой скорости свистящих атмосфериков

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — д.ф.-м.н., профессор А.В. Гульельми¹, к.ф.-м.н. Б.И. Клайн², д.ф.-м.н. А.С. Потапов³.

1 — ИФЗ РАН

2 — ГО Борок ИФЗ РАН

3 — ИСЗФ СО РАН

Динамический спектр свистящего атмосферика представляет собой сигнал падающего тона, причем время групповой задержки сигнала как функция частоты формируется в результате распространения широкополосного импульса в среде (магнитосферной плазме) с квадратичным законом дисперсии. Показано, что при квадратичной дисперсии групповая скорость инвариантна относительно преобразований Галилея. Это значит, что, вопреки ожиданию, групповая скорость парадоксальным образом не зависит от скорости движения

среды относительно наблюдателя. Представлено общее условие инвариантности в виде дифференциального уравнения. Для объяснения парадокса введено представление о динамическом спектре функции Грина трассы распространения электромагнитных волн от импульсного источника (молниевое разряда в случае свистящего атмосферика) в диспергирующей среде. Подчеркнута важность учета движения плазмы при экспериментальном и теоретическом исследовании электромагнитных волновых явлений в околоземном космическом пространстве.

Публикация:

Гульельми А.В., Клайн Б.И., Потапов А.С. О групповой скорости свистящих атмосфериков // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 4. С. 70–74. DOI: 10.12737/szf-74202106.

2.2.5.12. Динамика продольных токов в двух полушариях Земли в ходе магнитосферной бури по данным техники инверсии магнитограмм

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — д.ф.-м.н. В.В. Мишин, Ю.А. Караваев, С.Б. Лунюшкин, Ю.В. Пенских, В.Э. Капустин.

С использованием модернизированной техники инверсии магнитограмм продолжено изучение физических процессов в ходе магнитосферной бури 17.08.2001 на основе анализа динамики интенсивностей продольных токов (ПТ) в зоне 1 Ииджимы — Потемры в полярных ионосферах двух полушарий Земли. Полученные результаты по динамике асимметрии ПТ двух типов (утро–вечер и межполушарной), как и полученные нами ранее закономерности поведения токов Холла и границ полярных шапок в зависимости от наблюдавшейся в ходе бури большой азимутальной компоненты межпланетного магнитного поля (ММП) и сезонного хода проводимости, соответствуют открытой модели магнитосферы и результатам спутниковых наблюдений полярных сияний в двух полушариях. Показано, что ослабление асимметрии двух типов в распределении ПТ во время суббурь, имевших место в ходе исследуемой бури, происходит практически полностью в зимнем полушарии и значительно слабее — в летнем. Это явление мы связываем с преобладанием эффекта длительного воздействия азимутальной компоненты ММП в освещенной полярной ионосфере летнего полушария над суббуревым эффектом симметризации ночной магнитосферы. Отмечен эффект симметризации полярной шапки и ПТ, создаваемый импульсом давления солнечного ветра в конце бури, предложено качественное объяснение этого эффекта.

Публикация:

Мишин В.В., Караваев Ю.А., Лунюшкин С.Б., Пенских Ю.В., Капустин В.Э. Динамика продольных токов в двух полушариях Земли в ходе магнитосферной бури по данным техники инверсии магнитограмм // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 1. С. 34–39. DOI: 10.12737/szf-71202104.

2.2.5.13. Динамика асимметрии распределения продольных токов во время суббурь в сезон равноденствия

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — д.ф.-м.н. В.В. Мишин, д.ф.-м.н. В.М. Мишин, к.ф.-м.н. М.А. Курикалова.

На основе техники инверсии магнитограмм по данным мировой сети магнитометров исследуется динамика распределения продольных токов в ионосфере Северного полушария. Исследование проведено в период равноденствия в ходе двух суббурь во время длительного интервала с неизменной по знаку и величине азимутальной компонентой меж-

планетного магнитного поля. Обнаружено изменение знака асимметрии утро—вечер в распределении интенсивности продольных токов при переходе от одной суббури к другой. Причинами этого изменения мы считаем суточное вращение оси геомагнитного диполя и перемещение терминатора относительно центра полярной шапки, вызвавшее существенное изменение освещенности полярной ионосферы и ее проводимости. Кроме того, впервые обнаружена быстрая (в течение нескольких минут) смена знака асимметрии во время взрывной фазы первой суббури при нахождении терминатора вблизи центра полярной шапки и при равной освещенности полярной ионосферы в обоих полушариях. Мы предполагаем, что такая быстрая динамика асимметрии продольных токов при неизменной азимутальной компоненте ММП в период равноденствия могла быть следствием неустойчивости симметрии освещенности и проводимости ионосфер двух полушарий из-за суточного вращения Земли и сильной межполушарной асимметрии геомагнитного поля, что могло вызвать протекание межполушарного продольного тока.

Публикация:

Мишин В.В., Мишин В.М., Курикалова М.А. Динамика асимметрии распределения продольных токов во время суббурь в сезон равноденствия // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 1. С. 40–50. DOI: 10.12737/szf-71202105.

2.2.5.14. Эффекты второго порядка при генерации альфвеновских волн в плазме с давлением

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — к.ф.-м.н. И.С. Дмитриенко.

Исследованы эффекты второго порядка при генерации альфвеновских волн в плазме с давлением. Показано, во-первых, что в плазме с давлением так же, как и в холодной плазме, альфвеновские волны генерируют течения плазмы и уменьшения магнитного поля, распространяющиеся вместе с этими волнами. Во-вторых, на стадии своего взаимодействия альфвеновские волны генерируют медленные магнитозвуковые (ММЗ) волны, распространяющиеся вдоль магнитного поля. Такие результаты позволяют предположить, что часть наблюдаемых в хвосте магнитосферы быстрых потоков плазмы может быть одним из проявлений распространяющихся альфвеновских волн как в областях магнитосферы с холодной плазмой, так и в областях магнитосферы с плазмой с давлением. Они дают также возможность определения положения источника альфвеновского возмущения по результатам наблюдения альфвеновских волн и генерируемых ими ММЗ-волн.

2.2.5.15. Оценка вариаций параметров термосферы в ходе магнитной бури по данным спутниковых измерений плотности термосферы

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — к.ф.-м.н. Л.А. Леонович, д.ф.-м.н. А.В. Тащилин.

Моделирование динамики ионосферы во время магнитной бури требует знания вариаций параметров возмущенной термосферы в ходе бури. Данные измерений торможения спутников показали, что во время магнитных бурь эмпирические модели атмосферы, например NRLMSISE00, дают сильно заниженные значения плотности термосферы (до пяти раз по сравнению с наблюдениями). Предложен способ оценки высотных распределений температуры и состава термосферы на основе спутниковых измерений плотности в верхней термосфере (400–500 км). Метод основан на сопоставлении результатов описания распределений параметров термосферы по эмпирической модели NRLMSISE00 и аналитической модели термосферы Walker-65. Эта модель, как и NRLMSISE00, использует ана-

литическое представление профиля температуры Бейтса на высотах $h \geq 120$ км и контролируется набором из пяти параметров, включая температуру экзосферы, температуру и концентрации на уровне 120 км. Показано, что модель термосферы NRLMSISE00 применима в геомагнитно-спокойных условиях, а с использованием предложенной корректировки и при высоком уровне геомагнитной возмущенности.

Публикации:

Тащилин А.В., Леонович Л.А. Оценка вариаций параметров термосферы в ходе магнитной бури по данным спутниковых измерений плотности термосферы // XXVII Международный Симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Москва, 5–9 июля 2021 г. С. Е-227. <https://symp.iao.ru/files/symp/aoo/27/E.pdf>.

Tashchilin A.V., Leonovich L.A. Estimation of variations in the thermosphere parameters during a magnetic storm from satellite measurements of thermospheric density // Proc. SPIE. 2021. (в печати).

2.2.5.16. Альфвеновский резонанс в трехмерно-неоднородной модели магнитосферы

Проект РНФ № 18-17-00021 «Теоретическое и экспериментальное исследование долгопериодических пульсаций электромагнитного поля Земли, вызываемых процессами в магнитосфере и солнечном ветре». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Отв. исполнители — к.ф.-м.н. П.Н. Магер, д.ф.-м.н. А.С. Леонович. Авторы результата — к.ф.-м.н. П.Н. Магер, к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин.

Наиболее часто наблюдаемой модой долгопериодических колебаний в земной атмосфере является альфвеновская мода. В простейших моделях магнитосферы альфвеновская волна полагается узколокализованной на некоторой резонансной магнитной оболочке, где амплитуда волны стремится к бесконечности. Это явление, называемое альфвеновским резонансом, является одним из основных понятий теории долгопериодических колебаний в земной магнитосфере. Одной из важнейших задач данного проекта было исследование альфвеновского резонанса в трехмерно-неоднородной модели магнитосферы, учитывающей неоднородность плазмы и магнитного поля вдоль силовых линий магнитного поля, поперек магнитных оболочек и в азимутальном направлении. Было показано, что в этом случае область локализации волны наклонена по отношению к магнитным оболочкам. Внешняя и внутренняя границы области локализации являются поверхностями, на которых происходит генерации волны. Далее волновая энергия распространяется с двух сторон вглубь области локализации волны, приближаясь к некоторой поверхности, на которой происходит аккумуляция волновой энергии. На этой поверхности расположен максимум амплитуды волны, однако, в отличие от одномерно- и двумерно-неоднородных моделей магнитосферы, амплитуда волны остается конечной.

Публикация:

Mager P.N., Klimushkin D.Y. The field line resonance in the three-dimensionally inhomogeneous magnetosphere: Principal features // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2021. Vol. 126, e2020JA028455. DOI: 10.1029/2020JA028455.

2.2.5.17. Черенковская генерация быстрого магнитного звука импульсом давления солнечного ветра

Проект РНФ № 18-17-00021 «Теоретическое и экспериментальное исследование долгопериодических пульсаций электромагнитного поля Земли, вызываемых процессами в магнитосфере и солнечном ветре». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Отв. исполнители — к.ф.-м.н. П.Н. Магер, д.ф.-м.н. А.С. Леонович. Авторы результата — к.ф.-м.н. П.Н. Магер, к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин.

Теоретически изучена пространственная структура быстрого магнитного звука, генерированного импульсом давления солнечного ветра, движущимся со сверхальфвеновской скоростью по магнитопаузе. Установлено, что такой источник генерирует конус Маха, расширяющийся в каждой точке с локальной альфвеновской скоростью. Конус Маха отражается от магнитной поверхности, где локальное число Маха равно 1 (общая отражающая поверхность). Затем конус Маха расширяется вовне и отражается от магнитопаузы. Последовательные отражения от общей отражающей поверхности и магнитопаузы приводят к тому, что конус Маха превращается в искривленную ломаную линию.

Публикация:

Klimushkin D.Yu., Mager P.N. Cherenkov radiation of the fast magnetoacoustic waves in the non-uniform magnetospheric plasma // Phys. Plasmas. 2021. Vol. 28, 022901. DOI: 10.1063/5.0035904.

2.2.5.18. Продольное электрическое поле альфвеновской волны

Проект РНФ № 18-17-00021 «Теоретическое и экспериментальное исследование долгопериодических пульсаций электромагнитного поля Земли, вызываемых процессами в магнитосфере и солнечном ветре». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Отв. исполнители — к.ф.-м.н. П.Н. Магер, д.ф.-м.н. А.С. Леонович. Авторы результата — к.ф.-м.н. Д.В. Костарев, к.ф.-м.н. П.Н. Магер, к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин.

Экспериментальные исследования установили, что ультранизкочастотные колебания в земной магнитосфере способны модулировать и ускорять захваченные частицы в геомагнитном поле, что нередко приводит к высыпаниям электронов в атмосферу, являющимся причинами полярных сияний. За ускорение заряженных частиц вдоль силовых линий магнитного поля Земли должно отвечать продольное электрическое поле. Участниками проекта предложен механизм генерации продольного электрического поля альфвеновской волной в искривленном магнитном поле с запертыми частицами, основанный на решении уравнений кинетики. Установлено, что в присутствии кривизны силовых линий и градиентов концентрации плазмы величина продольного электрического поля значительно больше, чем в однородной плазме. Этого поля оказывается достаточно, чтобы ускорить электроны до энергий, необходимых для интенсификации сияний. В соответствии с экспериментами потенциал электрического поля сосредоточен в основном вблизи ионосферных концов силовых линий.

Публикация:

Kostarev D.V., Mager P.N., Klimushkin, D.Y. Alfvén wave parallel electric field in the dipole model of the magnetosphere: Gyrokinetic treatment // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2021. Vol. 126, e2020JA028611. DOI: 10.1029/2020JA028611.

2.2.5.19. Обзор теории и экспериментальных данных по взаимодействию долгопериодических УНЧ-волн и заряженных частиц в магнитосфере

Проект РФФИ №20-15-50241 «Взаимодействие долгопериодических УНЧ-волн и заряженных частиц в магнитосфере: теория и наблюдения (обзор)». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Отв. исполнитель — П.Н. Магер. Авторы результата — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин, к.ф.-м.н. П.Н. Магер, к.ф.-м.н. М.А. Челпанов, к.ф.-м.н. Д.В. Костарев.

Рассмотрено современное состояние проблемы взаимодействия между длиннопериодными ультра-низкочастотными (УНЧ) волнами и высокоэнергичными частицами. Рассмотрены элементы теории обмена энергии между волнами и частицами, переноса частиц поперек магнитных оболочек под действием электромагнитного поля волны, вопросы ускорения частиц радиационных поясов посредством резонансных и нерезонансных механизмов. Рассмотрены механизмы генерации азимутально-мелкомасштабных УНЧ-волн за

счет неустойчивостей, возникающих при резонансе волна—частица. Отдельно разобраны случаи альфвеновских, дрейфово-компрессионных и зеркально-дрейфовых волн. Отмечено, что ввиду отсутствия детальной теории зеркально-дрейфовых мод возможность их существования в магнитосфере не является доказанным фактом. Обобщены экспериментальные факты по регистрации полоидальных и компрессионных УНЧ-волн, генерированных неустойчивыми популяциями высокоэнергичных частиц. Разобраны механизмы модуляции потоков энергичных частиц УНЧ-волнами и возможные наблюдательные проявления такой модуляции. Рассмотрены методы изучения структуры волн поперек магнитных оболочек посредством регистрации потоков резонансных частиц с конечным ларморовским радиусом.

Публикация:

Климушкин Д.Ю., Магер П.Н., Челпанов М.А., Костарев Д.В. Взаимодействие длинно-периодных УНЧ-волн и заряженных частиц в магнитосфере: теория и наблюдения (обзор) // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 4. С. 35–69. DOI: 10.12737/szf-74202105.

2.2.5.20. Наблюдения длительной полоидальной УНЧ-волны с помощью нескольких космических аппаратов

Проект РФФИ № 20-55-5300 «Взаимодействие между УНЧ-волнами и частицами в магнитосфере: экспериментальный и теоретический аспекты». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — А.В. Рубцов¹, к.ф.-м.н. О.С. Михайлова¹, к.ф.-м.н. П.Н. Магер¹, к.ф.-м.н. Д.Ю.Климушкин¹, J. Ren², Q. Zong²

¹ — ИСЗФ СО РАН

² — *Institute of Space Physics and Applied Technology, Peking University, Пекин, Китай*

Представлены результаты наблюдения глобальной волны Pc4–5 на дневной стороне во время поздней фазы восстановления магнитной бури с помощью семи космических аппаратов. Осцилляции продолжались в течение 15 часов и начались еще до начала суббури. Непрерывное наблюдение показало, что суббуревые инъекции не оказали влияния на поведение волны и все изменения ее параметров были вызваны восстановлением магнитосферной плазмы после магнитной бури. Волна была идентифицирована как вторая гармоника полоидальной альфвеновской волны, распространяющаяся на запад, с большим азимутальным волновым числом ($|m| \sim 210$) и сцепленная с протонами с энергией 100 кэВ через баунс-дрейфовый резонанс. Источником энергии для волны был большой радиальный градиент функции распределения.

Публикация:

Rubtsov A.V., Mikhailova O.S., Mager P.N., Klimushkin D.Yu., Ren J., Zong Q. Multi-spacecraft observations of the pre-substorm long-lasting poloidal ULF wave // Geophys. Res. Lett. 2021. Vol. 48, e2021GL096182. DOI: 10.1029/2021GL096182.

2.2.6. Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце—Земля

2.2.6.1. Обнаружение источника генерации радиовсплеска II типа на ударной волне, обусловленной корональным выбросом массы 13 июня 2010 г.

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце—Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — к.ф.-м.н. Я.И. Егоров, д.ф.-м.н. В.Г. Файнштейн, к.ф.-м.н. Д.В. Просовецкий.

На примере события 13 июня 2010 г. проведен поиск мест на ударной волне, связанной с корональным выбросом массы (КВМ), в которых происходит генерация радиовсплесков II типа (рис. 2.2.6.1.1). Использовались изображения Солнца в различных каналах для выделения ударной волны и распределения меры эмиссии над солнечным лимбом

(рис. 2.2.6.1.2) для получения разных характеристик плазмы перед фронтом ударной волны и за ним. Обнаружен участок ударной волны, в котором одновременно достигают максимального значения скачок концентрации электронов на фронте ударной волны X , альфвеновское число Маха M_a и скорость ударной волны V_{sh} . Кроме того, на этом участке рассчитанное значение X оказалось наиболее близким к значению X_{rb} , полученному по данным радиовсплесков II типа ($X_{rb})=N_{e2}/N_{e1}=(f_u/f_l)^2$, где N_{e2} и N_{e1} — концентрации электронов в вершине и основании ударной волны; f_u и f_l — частоты радиоизлучения в верхней и нижней полосе динамического спектра в области гармоник. Опираясь на эти результаты, мы предположили, что именно данный участок ударной волны является источником радиовсплесков II типа. Этот участок движется в направлении под углом $+20^\circ$, проведенном из центра окружности, аппроксимирующей ударную волну, относительно направления, проходящего через середину ударной волны.

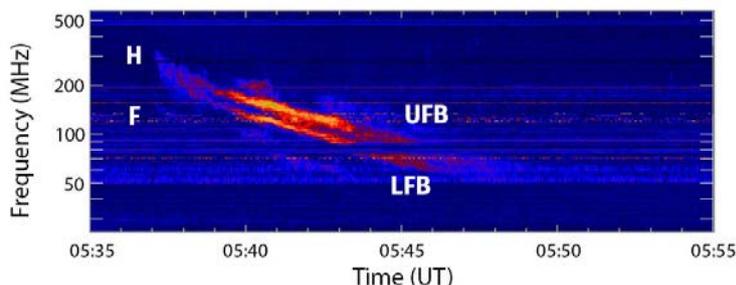


Рис. 2.2.6.1.1. Радиовсплески II типа по данным HiRAS во время события 13 июня 2010 г.

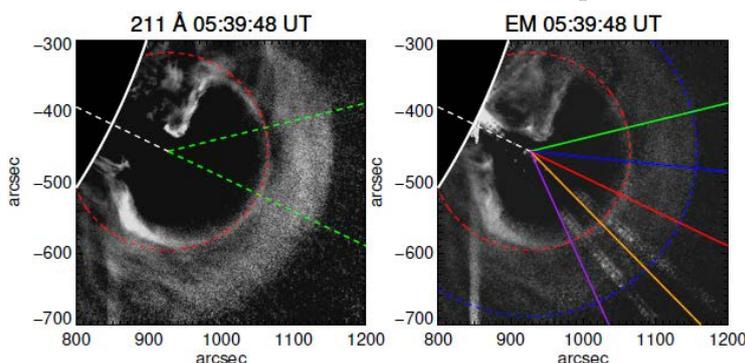


Рис. 2.2.6.1.2. Нижний фрагмент короны над лимбом Солнца, полученный AIA в канале 211 Å (слева) и распределение меры эмиссии в этом фрагменте. Резкие внешние границы областей повышенной яркости на обеих панелях — ударная волна. Прямыми линиями на правой панели показаны направления, вдоль которых сканировалась мера эмиссии и анализировались параметры ударной волны

Публикация:

Egorov Ya.I., Fainshtein V.G., Prosovetskiy D.V. Finding spots in a CME-related shock where physical conditions can emerge favoring type II radio burst generation on 2010 June 13 // Solar Phys. 2021. Vol. 296, no. 4, article id. 58. DOI: 10.1007/s11207-021-01788-3.

2.2.6.2. Простой способ нахождения направления движения корональных выбросов массы в трехмерном пространстве

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце—Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — к.ф.-м.н. Я.И. Егоров, д.ф.-м.н. В.Г. Файнштейн.

Важной задачей исследования корональных выбросов массы (КВМ) является разработка методов нахождения их кинематических характеристик в трехмерном (3D) пространстве. Это важно в том числе для создания эффективных методов прогноза геомагнитных бурь. Существенно продвинуться в решении этой проблемы удалось после запуска

космических аппаратов STEREO-A, -B, наблюдающих Солнце с различных направлений. Было предложено несколько методов решения этой задачи по данным STEREO, для многих из которых недостатком является относительная сложность реализации. Нам удалось создать довольно простой метод нахождения кинематических 3D-характеристик КВМ, используя данные коронографов, установленных на космических аппаратах STEREO-A, -B (COR2A, B) и SOHO/(LASCO C2, C3). Наш метод позволяет определить направление движения КВМ в 3D-пространстве, расстояние внешней границы КВМ от центра Солнца и ее скорость в зависимости от времени, а также установить сторону Солнца, на которой возник КВМ: видимая или обратная для наблюдателя на Земле. Угол φ в плоскости солнечного экватора (или в плоскости эклиптики, поскольку мы их не разделяли) между направлением движения КВМ и линией Солнце—Земля находится из соотношения: $S_A S_B = |\cos(\varphi + 90 - a)| / |\cos(\varphi - 90 + b)|$ с учетом дополнительной информации. При использовании данных коронографов COR2A на борту STEREO-A, -B, a и b — углы между STEREO-A, -B и линией Солнце—Земля; S_A и S_B — расстояния в экваториальной плоскости границы проекции КВМ от центра Солнца. Широта λ направления движения КВМ находится из соотношения: $\lambda = \text{atan}(\tan \Lambda / \sin \varphi)$, где Λ — широта движения КВМ в плоскости неба LASCO C2, C3. В качестве примера использования нашего метода приведем изображения КВМ, зарегистрированного 3 ноября 2011 г., в плоскости неба коронографов COR2A, B и результаты расчета углов φ и λ , а также расстояния R_{3D} от центра Солнца до передней границы КВМ в 3D-пространстве в момент времени 23:42 UT (рис. 2.2.6.2.1).

Результаты расчета параметров КВМ в 3D-пространстве: $\varphi = -153^\circ$, $\lambda = 18^\circ$, $R_{3D} = 10.8R_S$, где R_S — радиус Солнца. КВМ возник на обратной стороне Солнца слева от продолжения линии Земля—Солнце.

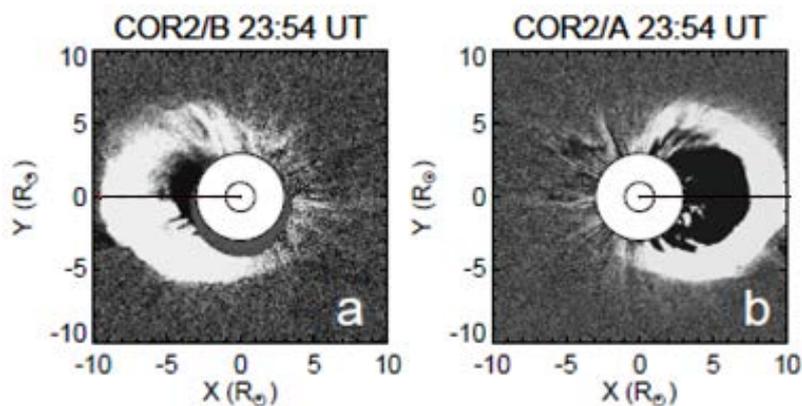


Рис. 2.2.6.2.1. Изображения КВМ, зарегистрированного 03.11.2011 г., в плоскости неба коронографов COR2A, B. Сплошными линиями показана плоскость экватора

Публикация:

Egorov Ya.I., Fainshtein V.G. A simple technique for identifying the propagation direction of CME in a 3D space // Solar Phys. 2021. Vol. 296, no. 161. DOI: 10.1007/s11207-021-01904-3.

2.2.6.3. Влияние взрывных процессов на Солнце на углы наклона силовых линий магнитного поля в тени пятен

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце—Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — к.ф.-м.н. Ю.С. Загайнова¹, д.ф.-м.н. В.Г. Файнштейн².

1 — ИЗМИРАН

2 — ИСЗФ СО РАН

Целью работы являлось исследование влияния взрывных процессов (ВП) на Солнце на магнитные свойства тени солнечных пятен в активных областях (АО). ВП включают в себя формирование корональных выбросов массы (КВМ) и/или вспышку. В качестве характеристики поля в тени пятна выбраны углы наклона силовых линий поля к радиальному направлению из центра Солнца α_{\min} (минимальный угол в пределах тени пятна) и $\langle\alpha\rangle$ (средний угол в пределах тени пятна). Показано, что взрывные процессы в таких АО могут существенно влиять на характер изменения со временем α_{\min} и $\langle\alpha\rangle$ в тени пятна, а также их колебаний. Наиболее существенно поведение углов α_{\min} и $\langle\alpha\rangle$ в тени пятен после начала вспышки меняется во время события, связанного с возникновением самого быстрого рассмотренного КВМ и с мощной солнечной вспышкой. Анализ показал, что наиболее сильные и резкие изменения α_{\min} и $\langle\alpha\rangle$ происходят в тени пятен с минимальными размерами и/или в солнечных пятнах, наиболее близко расположенных к месту возникновения ВП. Предположительно, причиной изменения характера поведения углов наклона линий поля после начала вспышки является воздействие горизонтальной силы Лоренца на магнитные трубки, выходящие из тени пятен. Электрические токи, участвующие в формировании такой силы, возникают в процессе трансформации магнитного поля в солнечной атмосфере во время формирования КВМ и/или возникновения вспышки. Проведен анализ долгопериодических колебаний α_{\min} и $\langle\alpha\rangle$ до и после начала ВП (вспышки) в течение двенадцати часов — всего периода изучения каждого события (рис. 2.2.6.3.1).

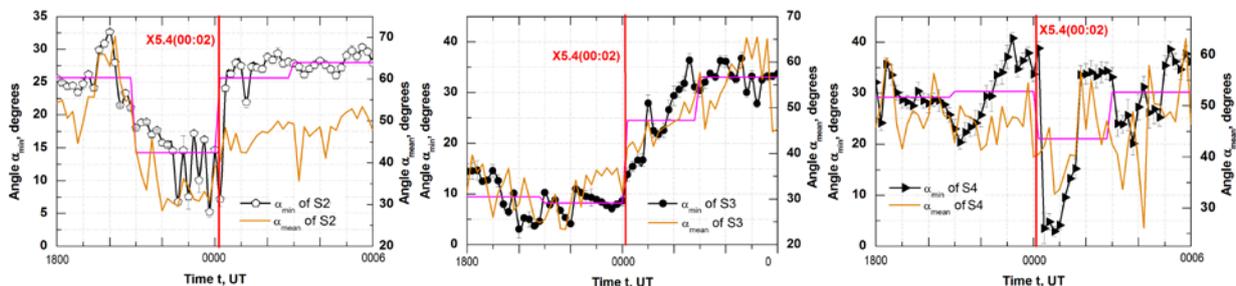


Рис. 2.2.6.3.1. Влияние взрывных процессов на поведение α_{\min} и $\langle\alpha\rangle$ в разных пятнах после начала вспышки во время события 7 марта 2012 г. в активной области NOAA 11429. Момент времени 0000 (отмечен сплошной вертикальной линией) соответствует началу вспышки

Публикация:

Zagainova Yu.S., Fainshtein V.G. Effect of explosive processes on the Sun on the inclination angles of the magnetic field lines in the sunspot umbra // Geomagnetism and Aeronomy. 2021. Vol. 61, no. 7. P. 928–936. DOI: 10.1134/S0016793221070240.

2.2.6.4. Зональные гармоники магнитного поля Солнца и прогноз солнечного цикла

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце–Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — д.ф.-м.н. В.Н. Обридко¹, к.ф.-м.н. И.М. Лившиц¹, д.ф.-м.н. Д.Д. Соколов², А.С. Шибалова², д.ф.-м.н. В.В. Пипин³.

1 — ИЗМИРАН

2 — МГУ

3 — ИСЗФ СО РАН

Предложены новые трассеры прогноза солнечного цикла на основе параметров зональных гармоник крупномасштабного магнитного поля Солнца. Согласно основной схеме солнечного динамо, крупномасштабное тороидальное магнитное поле Солнца, которое является основным источником пятенной активности, генерируется из полоидального поля за счет дифференциального вращения. Величина полярного магнитного поля обычно ис-

пользуется как основной трассер амплитуды полоидального поля. Наши результаты показывают, что параметры зональных гармоник крупномасштабного магнитного поля, такие как амплитуда 3-й зональной гармоники и индекс мультиполя, могут служить для уточнения прогноза циклов солнечной активности. На рис. 2.2.6.4.1, *а* показано, что временное поведение полярного магнитного поля, измеренного по данным Стэнфордской обсерватории, полностью описывается дипольной и октупольной зональными гармониками. Заметим, что определение полярного магнитного поля связано с произвольным выбором широты. В то же время определение амплитуд дипольной и октупольной гармоник свободно от этого недостатка. Индекс мультиполя i_M определяется как обратный логарифм отношения энергии магнитных полей на поверхности источника к энергии поверхностного поля, нормированный на параметры дипольного поля. На рис. 2.2.6.4.1, *б* показывает вариации i_M с 21-го по 24-й цикл. Вариации общего индекса мультиполя происходят в фазе с циклом пятен. Индекс, рассчитанный по осесимметричным компонентам поля, показывает аномальное поведение в максимуме 23-го цикла, которое может быть связано с перестройкой солнечного динамо. Данные 24-го цикла не позволяют говорить о том, что динамо вернулось в стандартный режим. Сравнение зависимости числа корональных выбросов от числа Вольфа и амплитуды индекса мультиполя показывает лучшую корреляцию для индекса мультиполя (рис. 2.2.6.4.1, *в*).

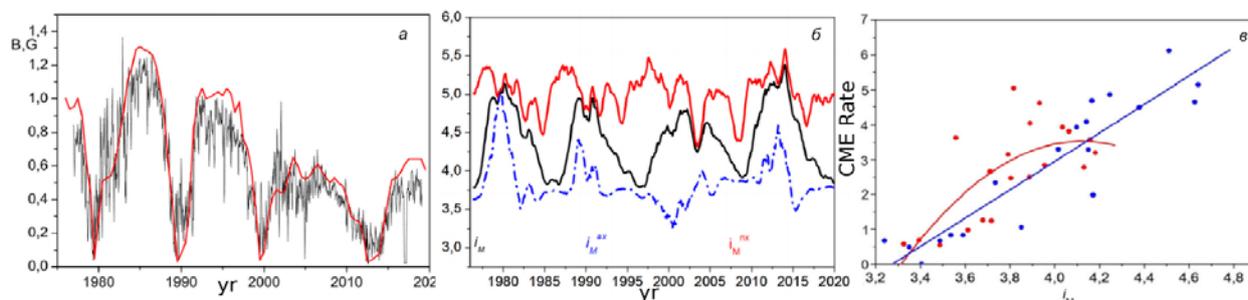


Рис. 2.2.6.4.1. Амплитуды суммы 1-й (диполь) и 3-й (октуполь) гармоник (черная линия) и полярного поля (красная линия) по данным Стэнфордской обсерватории (*а*); индекс мультиполя (*б*): черная линия — общий; синяя и красная линии — для осесимметричных и неосесимметричных магнитных полей Солнца; количество корональных выбросов в зависимости от индекса мультиполя (*в*): красные точки — 23-й цикл, синие точки — 24-й цикл

Публикация:

Obridko V.N., Sokoloff D.D., Pipin V.V., Shibalova A.S., Livshits I.M. Zonal harmonics of solar magnetic field for solar cycle forecast // J. Atmos. and Solar-Terr. Phys. 2021. Vol. 225, 105743. DOI: 10.1016/j.jastp.2021.105743.

2.2.6.5. Модифицированный метод обнаружения турбулентных слоев в пограничном слое атмосферы для Большого солнечного вакуумного телескопа

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце–Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев¹, д.ф.-м.н. П.Г. Ковадло¹, А.В. Киселев¹, к.ф.-м.н. Д.Ю. Колобов¹, д.ф.-м.н. В.П. Лукин², И.В. Русских¹, М.Ю. Шиховцев¹

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — ИОА СО РАН

В методах наземных наблюдений за Солнцем и солнечной активностью важным вопросом является состояние пограничного слоя атмосферы, в особенности появление в ней турбулентных слоев. В работе предлагается метод, основанный на методе SLODAR с временной задержкой, для обнаружения атмосферных турбулентных слоев с использованием

одного датчика волнового фронта. В схеме используются аккумулярованные возмущения волнового фронта, зарегистрированные в разные моменты времени от солнечных объектов (поры или пятна). Полученные значения наклонов, временных сдвигов и коэффициентов кросскорреляции позволяют оценить характеристики различных атмосферных слоев. Предложенный подход использует пересекающиеся лучи (рис. 2.2.6.5.1, слева) для решения проблемы низкого вертикального разрешения в классической методике SLODAR. Используя предложенный подход, можно получить дополнительные узлы (относительно классического метода SLODAR) и таким образом увеличить разрешение по вертикали. Дополнительно проведенный анализ низкочастотной составляющей искажений волнового фронта, которая связана с внешним масштабом турбулентности, позволяет идентифицировать турбулентные слои атмосферы (рис. 2.2.6.5.1, справа) в пограничном слое. Предложенная методика может использоваться для Большого солнечного вакуумного телескопа и строящихся установок нового класса в рамках Национального гелиогеофизического комплекса РАН.

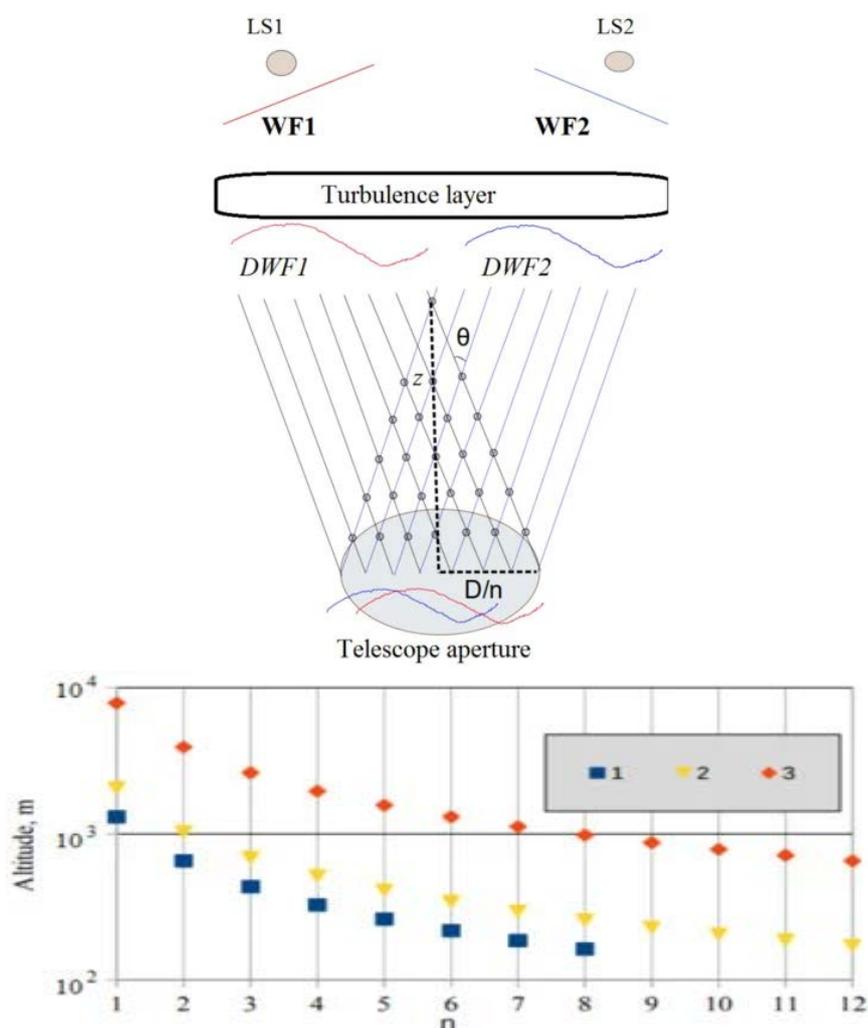


Рис. 2.2.6.5.1. Геометрическая схема метода (слева), а также зависимости высоты слоев от количества субапертур (справа)

Публикация:

Shikhovtsev A.Y., Kovadlo P.G., Kiselev A.V., Kolobov D.Y, Lukin V.P., Russkikh I.V., Shikhovtsev M.Y. Modified method to detect the turbulent layers in the atmospheric boundary layer for the Large Solar Vacuum Telescope // Atmosphere. 2021. Vol. 12, no. 159. DOI: 10.3390/atmos12020159.

2.2.6.6. Вариации космических лучей в ноябре 2012 г.

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце—Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Автор результата — к.ф.-м.н. А.А. Луковникова.

По данным спутниковых и наземных наблюдений космических лучей (КЛ) на мировой сети станций нейтронных мониторов исследованы форбуш-эффекты (ФЭ) в ноябре 2012 г. методом спектрографической глобальной съемки (СГС). Метод СГС в рамках модели модуляции КЛ регулярными электромагнитными полями гелиосферы при совместном анализе данных наземных и спутниковых измерений позволяет исследовать вариации жесткостного спектра, анизотропии и изменения жесткостей геомагнитного обрезания (ЖГО) за каждый час наблюдений (рис. 2.2.6.6.1).

На основе анализа сделан вывод, что в ноябре 2012 г. максимальные амплитуды первой гармоники анизотропии A_1 достигали $\sim 25\%$, амплитуды второй гармоники анизотропии $A_2 \sim 6\%$ для частиц с $R=4$ ГВ. Максимальная амплитуда модуляции для частиц с $R = 4$ ГВ составляла $\sim -5\%$, с $R=10$ ГВ — $\sim -8\%$. В моменты, когда обнаруживалась максимальная амплитуда модуляции для частиц с $R = 10$ ГВ, наблюдалась магнитная буря с $Dst \sim -120$ нТл, увеличение модуля ММП до 30 нТл, возрастание скорости солнечного ветра до 700 км/с и форбуш-эффекты. С 9 по 15 ноября 2012 г. Земля находилась внутри петлеобразной структуры ММП типа магнитной ловушки, связанной с Солнцем, которая деформировала фоновое магнитное поле, о чем свидетельствовало появление двунаправленной анизотропии большой амплитуды в угловом распределении частиц.

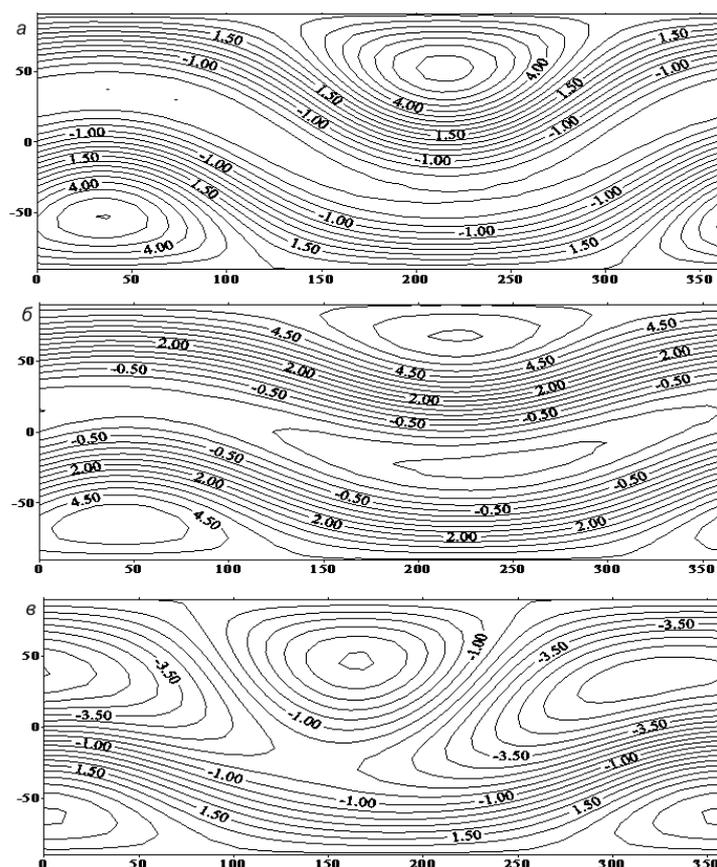


Рис. 2.2.6.6.1. Относительные изменения интенсивности КЛ с $R=4$ ГВ в солнечно-эклиптической геоцентрической системе координат 14 ноября 2012 для моментов времени 09:00 (а); 10:00 (б); 11:00 UT (в). Ось абсцисс — долготный угол ψ , ось ординат — широтный угол λ . Цифры на изолиниях указывают значения амплитуд вариаций интенсивности частиц в процентах к фоновому уровню

Публикация:

Lukovnikova A.A. Cosmic ray variations in November, 2012 // Proc. Science. Vol. 395, PoS(ICRC2021)1278. DOI: 10.22323/1.395.1278.

2.2.6.7. Оценка эффективности ионосферных моделей для ионосферной коррекции при одночастотном позиционировании методами GPS/ГЛОНАСС

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце—Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — Е.И. Данильчук¹, к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич², к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич², Д.А. Затолокин².

1 — ИГУ

2 — ИСЗФ СО РАН

Проведены исследование точности позиционирования и оценка эффективности применения моделей ионосферы для повышения точности в возмущенных условиях на примере геомагнитной бури 17–18 марта 2015 г. Анализ проведен для эмпирической модели GEMTEC и модели Клобучара (GPS). Выявлено значимое воздействие магнитной бури на точность позиционирования с увеличением полной 3D-ошибки до 5–7 раз. Отмечены различия в воздействии геомагнитного возмущения на точность позиционирования в разных долготных секторах, что связано с особенностями оценки полного электронного содержания (ПЭС) в моделях в зависимости от локального времени (рис. 2.2.6.7.1). В период бури значения ПЭС, рассчитанные по моделям, существенно отличаются от истинных, при этом максимальное отклонение регистрируется в локальное дневное время. Этим фактом объясняется и различие в динамике ошибок позиционирования в разных долготных секторах: наибольший рост ошибки соответствует времени локального дня.

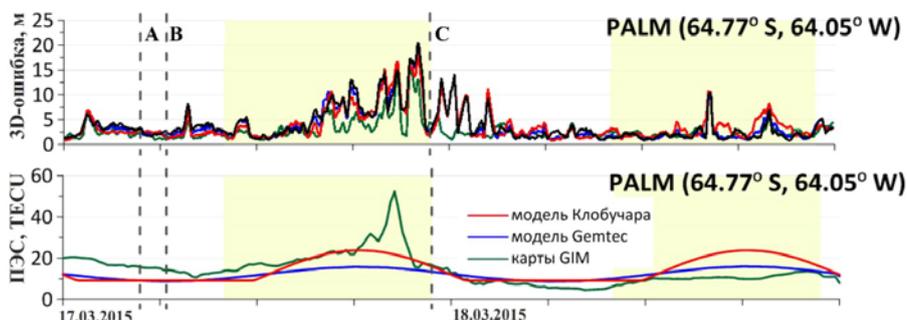


Рис. 2.2.6.7.1. Динамика 3D-ошибки позиционирования (сверху) на станции PALM 17–18 марта 2015 г. без ионосферной коррекции (черная кривая), с коррекцией с применением карт GIM UQRG (зеленый), модели Клобучара (красная кривая) и модели GEMTEC (синяя кривая), а также динамика вертикального ПЭС (внизу). Желтым цветом выделено локальное дневное время, вертикальными линиями обозначены внезапное начало бури (А), начало главной фазы (В) и фазы восстановления (С)

Публикация:

Данильчук Е.И., Ясюкевич Ю.В., Ясюкевич А.С., Затолокин Д.А. Влияние геомагнитной бури 17 марта 2015 г. на точность GPS-позиционирования в одночастотном режиме // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 1. С. 31–39. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-31-39.

2.2.6.8. Анализ воздействия космической погоды на функционирование глобальных навигационных спутниковых систем

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце—Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — д.т.н. В.В. Демьянов, к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич.

Проведен системный анализ работоспособности глобальных навигационных спутниковых систем при воздействии различных факторов космической погоды. В качестве основных выводов можно выделить: 1) при воздействии экстремальных факторов космической погоды погрешность позиционирования пользователей ГНСС в различных режимах навигационно-временных определений может увеличиваться более чем в 10 раз в сравнении с фоновыми условиями; 2) за последнее десятилетие проведена модернизация космического и наземного сегмента ГНСС, позволившая существенно повысить помехоустойчивость системы в условиях воздействия мощных вспышек радиоизлучения Солнца; 3) существует принципиальная возможность дальнейшего увеличения устойчивости и повышения точности измерения радионавигационных параметров в условиях влияния факторов космической погоды за счет внедрения алгоритмов адаптивной настройки измерителей; 4) в настоящее время остаются нерешенными проблемы контроля целостности системы и доступности требуемых навигационных характеристик с учетом воздействия экстремальных факторов космической погоды (рис. 2.2.6.8.1).

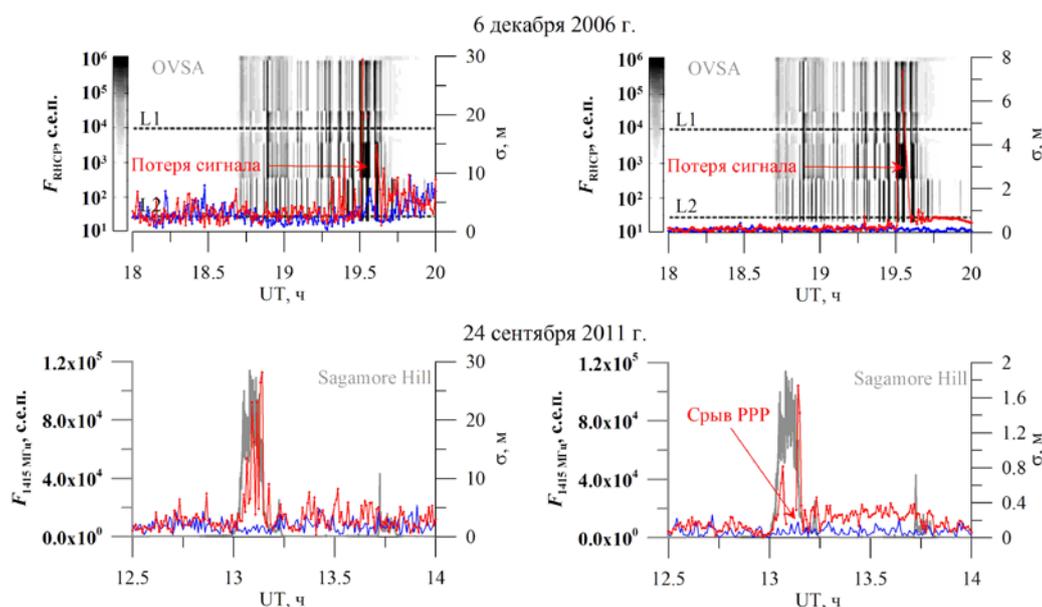


Рис. 2.2.6.8.1. Динамика ошибки позиционирования (красная кривая) при воздействии мощного солнечного радиоизлучения (серая кривая) 6 декабря 2006 г. и 24 сентября 2011 г.: слева — стандартный двухчастотный режим; справа — режим высокой точности (Precise Point Positioning); синяя кривая — динамика ошибки в спокойный день

Публикация:

Demyanov V.V., Yasyukevich Yu.V. Space weather: risk factors for Global Navigation Satellite Systems // Solar-Terr. Phys. 2021. Vol. 7, no. 2. P. 28–47. DOI: 10.12737/stp-72202104.

2.2.6.9. Метод оценки ионосферного отклика на локализованное событие по данным глобальных навигационных спутниковых систем

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце—Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — А.М. Веснин¹, А.В. Мохнаткин², д.ф.-м.н. О.А. Мальцева³, д.т.н. В.В. Демьянов^{1,4}, к.ф.-м.н. М.А.Сергеева^{5,6} и научные группы^{4,5,6}

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — ИПМ РАН

3 — ЮФУ

4 — ИРГУПС

5 — SCiESMEX

6 — Universidad Nacional Autonoma de Mexico (Mexico)

Разработан метод оценки ионосферного отклика по данным отдельных лучей спутник—приемник на разреженной сети приемников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Метод основан на данных второго уровня, полученных из рядов наклонного ПЭС, — вариаций ПЭС и индекса *ROTI*. Вариации ПЭС получены путем удаления тренда и последующей фильтрации рядов ПЭС, индекс *ROTI* оценивается как среднеквадратичное отклонение производной ПЭС в заданном временном окне (5 мин). Такие данные можно получить с помощью системы SIMuRG (<https://simurg.iszf.irk.ru/>) или рассчитать, используя программные модули этой системы.

Метод основан на поиске шаблонов в отдельных рядах ПЭС. Шаблон может быть задан аналитически, эмпирически или выбран из данных. Время максимального соответствия шаблона анализируемому ряду ПЭС является временем запаздывания отклика. Данные о времени запаздывания используются для выстраивания рядов ПЭС или различных пар спутник—приемник в порядке регистрации отклика. Визуальное представление полученных результатов может быть использовано для оценки наличия/отсутствия отклика в ионосфере на различные геофизические явления, имеющие вид локализованного источника. Графическое представление данных по результатам работы метода автоматически представляется пользователю. Метод использовался для оценки ионосферного отклика на пролет метеороида 19 февраля 2020 г. (рис. 2.2.6.9.1). Отмечается схожая динамика (шаблон) в вариациях ПЭС после события. При этом для разных станций шаблон смещается по времени.

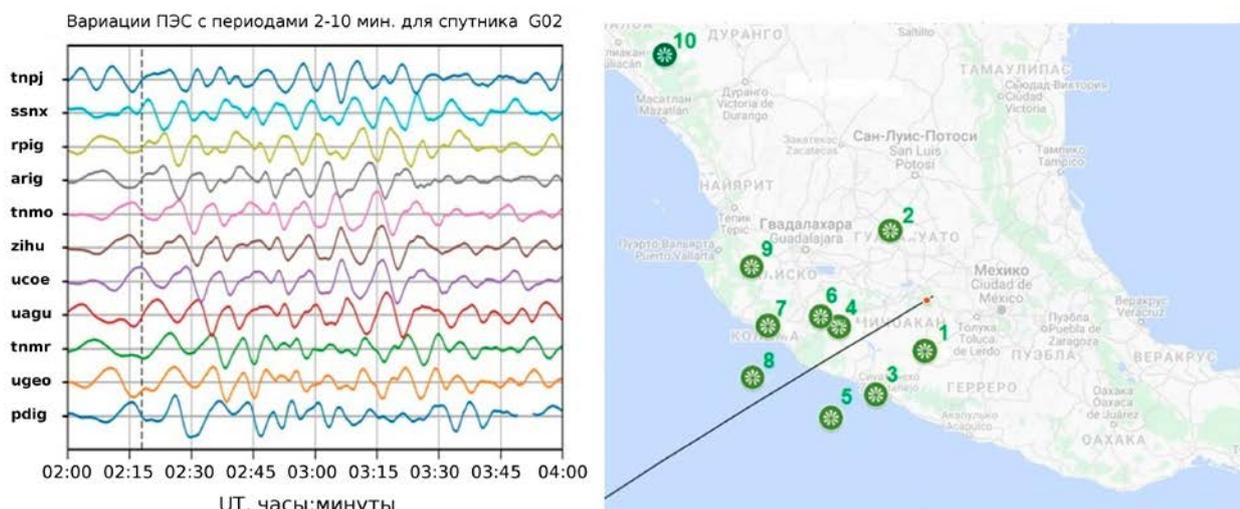


Рис. 2.2.6.9.1. Пример работы метода по оценке ионосферного отклика на локализованное событие пролета метеороида: справа — карта станций и траектория метеороида; оранжевой точкой показано место взрыва метеороида; цифры соответствуют очередности станций при регистрации отклика; слева — ряды вариаций ПЭС, штриховая линия соответствует времени взрыва метеороида

Публикация:

Sergeeva M.A., Demyanov V.V., Maltseva O.A., Mokhnatkin A., Rodriguez-Martinez M., Gutierrez R., Vesnin A.M., et al. Assessment of Morelian Meteoroid impact on Mexican Environment // Atmosphere. 2021. Vol. 12, no. 2, 185. DOI: 10.3390/atmos12020185.

2.2.6.10. Регистрация высокоширотных ионосферных неоднородностей во время магнитной бури 25–26 августа 2018 г. по данным спутниковых и наземных данных

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце—Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — к.ф.-м.н. Э.И. Астафьева¹, к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич², к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич², Б.М. Малецкий², С.В. Сыроватский³.

1 — IPGP

2 — ИСЗФ СО РАН

3 — МГУ

На основе данных наземных и спутниковых наблюдений проведен анализ ионосферных возмущений во время магнитной бури 25–26 августа 2018 г. Использовались данные сети приемников сигналов ГНСС и спутников SWARM. В качестве ключевого параметра использовался индекс *ROTI* — среднеквадратичное отклонение производной *ПЭС* на пятиминутном интервале.

По индексу возмущенного геомагнитного поля $SYM-H = -206$ нТл данная буря является третьей по мощности в 24-м цикле солнечной активности. Столь значимые возмущения геомагнитного поля привели к возмущенности ионосферы и термосферы. При этом наблюдалась межполушарная асимметрия: в Северном полушарии во время главной фазы и в начале фазы восстановления регистрировалась положительная ионосферная буря, а в Южном полушарии положительных возмущений не наблюдалось. Наиболее сильное увеличение *ПЭС* наблюдалось в азиатском секторе в 2–8 UT 26 августа.

Наиболее интенсивные неоднородности генерировались в высокоширотной области (рис. 2.2.6.10.1). В этой же области регистрировались резкие нетипичные изменения *ПЭС*, количество которых достигало в среднем по миру 1 % (от общего числа измерений) во время главной фазы бури. Область регистрируемых неоднородностей соответствовала области аврорального овала. В североамериканском секторе область ионосферных неоднородностей опустилась до 42° – 45° N. В Южном полушарии наблюдались две области высоких значений *ROTI*: в полярной области в американском секторе и на средних широтах в области Тихого океана.

Ионосферные неоднородности по спутниковым данным зарегистрированы в тех же областях, что и по наземным измерениям GPS/ГЛОНАСС.

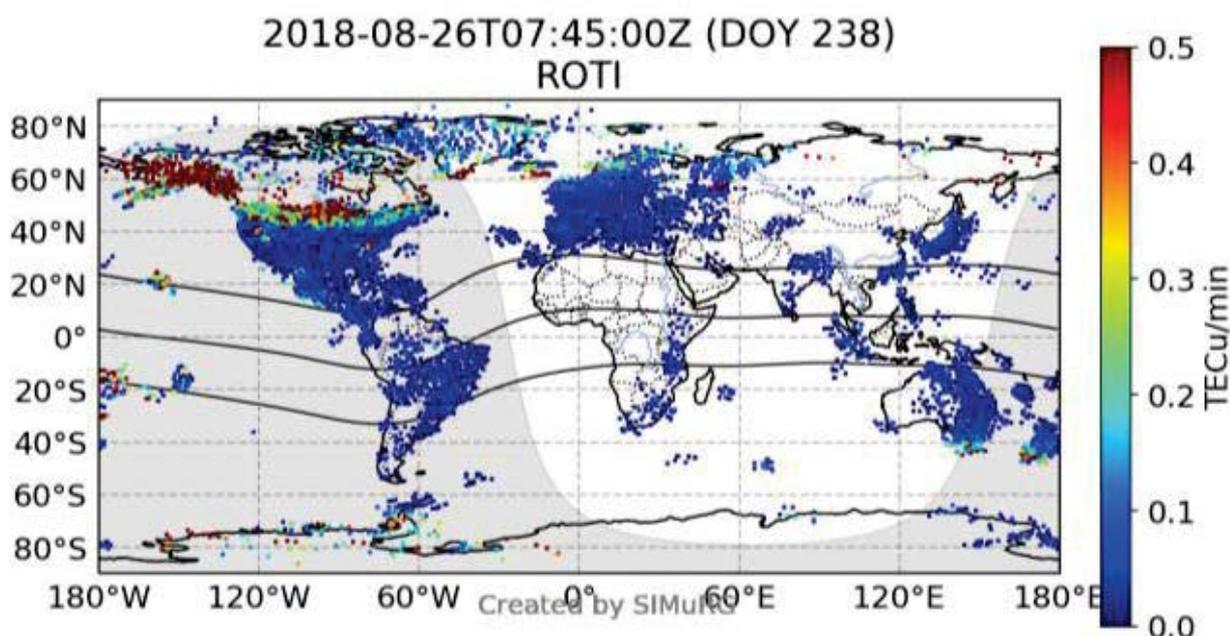


Рис. 2.2.6.10.1. Пространственное распределение индекса *ROTI* для начального момента фазы восстановления магнитной бури 07:45 UT 26 августа 2018 г.

Публикация:

Astafyeva E., Yasyukevich Y., Yasyukevich A., Maletckii B., Syrovatskii S. High-latitude ionospheric irregularities during the 25–26 August 2018 geomagnetic storm as seen by ground-based and space-borne instruments // 2021 XXXIVth General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS). 2021. P. 1–4. DOI: 10.23919/URSIGASS51995.2021.9560317.

2.2.6.11. Прогнозирование полного электронного содержания ионосферы Земли на основе градиентного бустинга и искусственных нейронных сетей

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце—Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — А.В. Жуков, к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич, А.Е. Быков

Разработан новый метод прогнозирования глобального распределения полного электронного содержания ионосферы Земли на основе интеллектуального анализа данных. Отличительной особенностью метода является использование нелинейных аппроксиматоров: метода градиентного бустинга XGBoost (GIMLi-XGBDT) и четырехслойной полносвязной искусственной нейронной сети (NN-based). С целью снижения размерности глобальных карт *ПЭС* используется метод главных компонент. Для обучения моделей используются данные глобальных ионосферных карт UQRG, разработанных Universitat Politecnica de Catalunya. В качестве входных параметров используются индексы геомагнитной активности K_p , A_p , AE , AU , AL и индексы солнечной активности R , $F10.7$. Усредненное по всему миру среднеквадратичное отклонение *ПЭС* составляет 2.5 TECU для разработанной модели GIMLi-XGBDT и 3.3 TECU для NN-based, в то время как модели NeQuick2 и Klobuchar характеризуются ошибками 4 и 5.2 TECU. Модели хорошо учитывают солнечную активность, но во время геомагнитных бурь их ошибка начинает увеличиваться. Пространственный анализ показывает, что все модели характеризуются максимальными ошибками в области экваториальной аномалии (рис. 2.2.6.11.1).

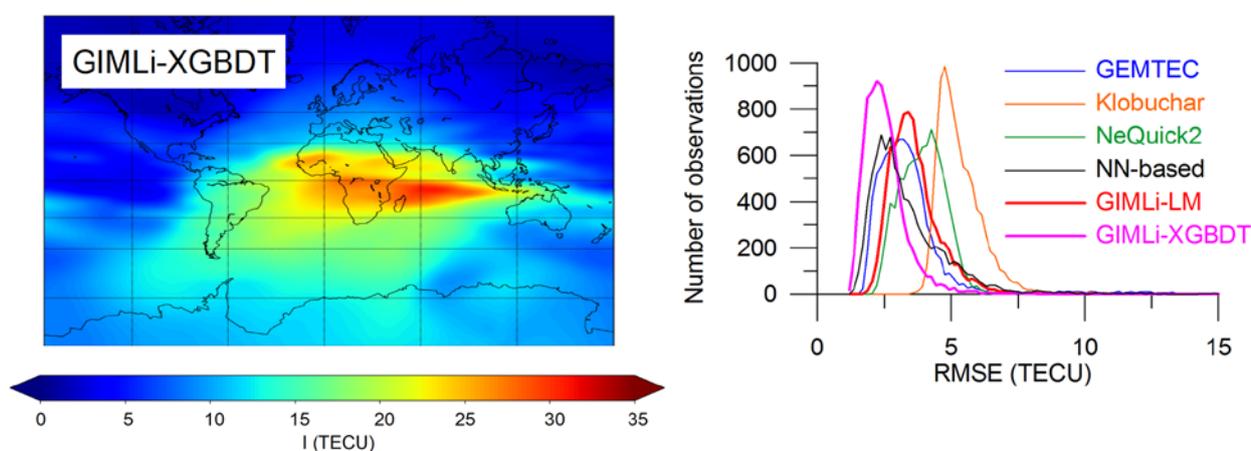


Рис. 2.2.6.11.1. Глобальное распределение полного электронного содержания 1 января 2017 г. 12 UT по модели GIMLi-XGBDT (слева) и гистограмма распределения ошибок различных моделей

Публикации:

Zhukov A.V., Yasyukevich Y.V., Bykov A.E. GIMLi: Global Ionospheric total electron content model based on machine learning // GPS Solutions. 2021. Vol. 25, 19. DOI: 10.1007/s10291-020-01055-1.

Быков А.Е., Ясюкевич Ю.В. Создание модели ионосферного полного электронного содержания на основе полносвязной искусственной нейронной сети // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021668835. Правообладатель: ИСЗФ СО РАН. Дата поступления: 15.11.2021. Дата регистрации: 22.11.2021.

2.3. Развитие методов и аппаратуры исследований в области астрофизики и геофизики

2.3.1. Методы и инструменты астрофизического эксперимента

2.3.1.1. Работы по вводу в эксплуатацию хромосферного гйда-искателя солнечного синоптического телескопа (СОЛСИТ)

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — А.А. Иванов, к.т.н. А.К. Китов, к.ф.-м.н. Г.И. Кушталь, д.ф.-м.н. В.И. Скоморовский, Л.С. Токарева, С.В. Фирстов, В.А. Химич, к.т.н. С.А. Чупраков.

Гид-искатель предназначен для слежения за солнечной хромосферой на полном диске Солнца и для выбора и гидирования отдельных солнечных образований при поляризационных измерениях на СОЛСИТ. Рассчитана оптическая схема гйда-искателя (рис. 2.3.1.1.1) с новым узкополосным интерференционно-поляризационным H α -фильтром ИПФ-1М, разработанным и изготовленным в ИСЗФ. Изготовлена оптика этого телескопа.

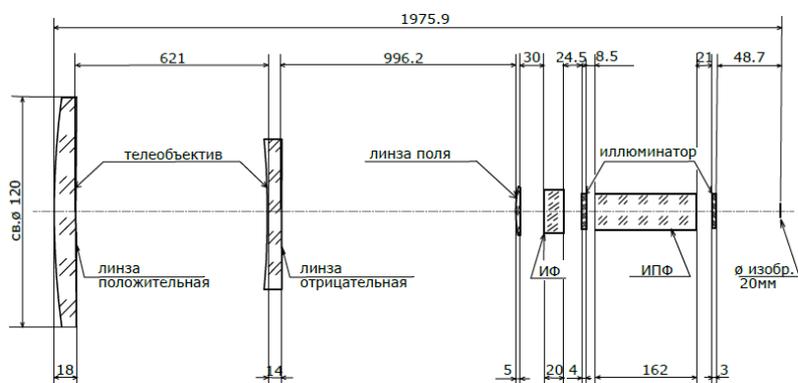


Рис. 2.3.1.1.1. Схема оптики гйда-искателя

Сконструирована и изготовлена труба телескопа. Все оптические элементы установлены и интерферометрически отъюстированы в трубе телескопа (рис. 2.3.1.1.2).



Рис. 2.3.1.1.2. Гид-искатель и интерференционно-поляризационный фильтр ИПФ-1М

Оптико-физические характеристики телескопа (рис. 2.3.1.1.3) вычислены программой FastInterf по интерферограмме, полученной в автоколлимационной схеме в двойном ходе.

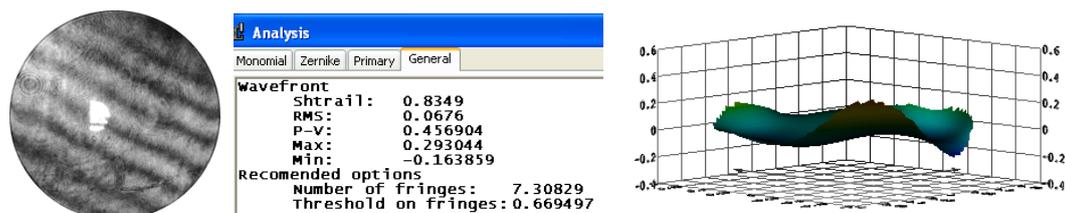


Рис. 2.3.1.1.3. Интерферограмма, общие характеристики и 3D-картина волнового фронта

Изготовленная система при значении числа Штреля ~ 0.8 удовлетворяет рэлеевскому допуску на остаточные aberrации $W_{\text{макс}} < 0.25\lambda$.

Публикация:

Skomorovsky V.I., Kushtal G.I., Tokareva L.S. Solc filter in optically active anisotropic crystal slabs // *Optik*. 2021. Vol. 245, 167655. DOI: [10.1016/j.jjleo.2021.167655](https://doi.org/10.1016/j.jjleo.2021.167655).

2.3.1.2. Анализ физических особенностей полосы пропускания интерференционно-поляризационных фильтров (ИПФ)

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов и к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов^{1,2}, Х. Ван², Ю. Ден², Х. Жан³

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — KLSA NAO CAS, Beijing, 100101, China

3 — NIAOT, NAO CAS, Nanjing, 210042, China

В физике Солнца традиционно используется два основных типа устройств для селекции света по длинам волн — спектрографы и фильтры, как правило, интерференционно-поляризационные (ИПФ). Явным достоинством ИПФ является то, что они позволяют выполнять монохроматические измерения одновременно в широком поле зрения, в случае Солнца вплоть до полного диска. Это обстоятельство обуславливает широкое использование ИПФ для видеоманитографов.

Видеоманитограф полного диска телескопа SMAT (Solar Magnetism and Activity Telescope) обсерватории HSOS (Huairou Solar Observing Station) является прототипом инструмента, который изготавливается в Китае для запуска в космос в составе космической обсерватории ASoS.

Многочисленными прецизионными экспериментами (рис. 2.3.1.2.1), а также детальными теоретическими расчетами, включая компьютерное моделирование, доказано ранее сделанное предположение, что полное число фотонов в полной полосе пропускания ИПФ постоянно и не зависит от числа фазосдвигающих элементов в фильтре и их ориентации. Практическим следствием данного результата является рекомендация на оптимальное число элементов ИПФ, которое не имеет смысла делать больше 8–10.

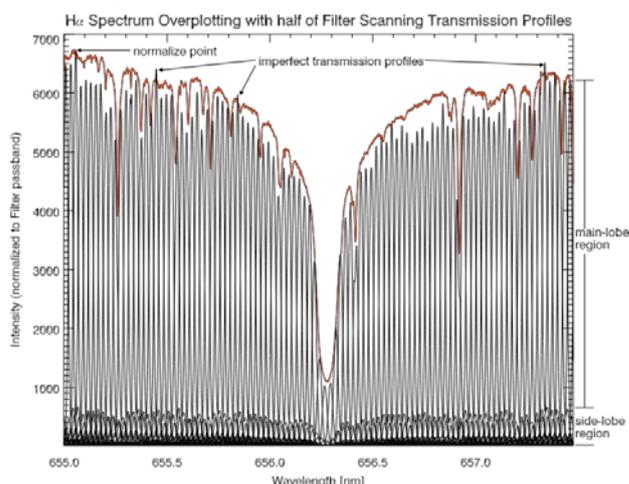


Рис. 2.3.1.2.1. Сопоставление реального солнечного профиля линии H α (красная линия) и интенсивностей, регистрируемых при смещении полосы пропускания ИПФ ($N = 101$)

Публикация:

Wang X., Demidov M.L., Deng Y., Zhang H. The bassband integration properties of birefringent filter // *Scientific Rep*. 2021. Vol. 11, 17044. DOI: [10.1038/s41598-021-96126-9](https://doi.org/10.1038/s41598-021-96126-9).

2.3.1.3. Повышение динамического диапазона яркостных температур радиоизображений Сибирского радиогелиографа

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов и к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — к.ф.-м.н. С.В. Лесовой, М.В. Глоба.

Разработаны методики повышения качества данных, получаемых на Сибирском радиогелиографе (СРГ-48), которые включали систему адаптивной коррекции разности длин оптических кабелей, позволяющую минимизировать разброс фаз антенн и упростить процесс их калибровки, а также методику улучшения амплитудной калибровки с помощью добавления измерений видностей парами антеннам с двойным шагом. В результате удалось получить радиоизображения Солнца с большим динамическим диапазоном яркостных температур на постоянной основе без привлечения нелинейных методов, таких как самокалибровка. Эти разработки были заложены в программное обеспечение сбора и обработки данных новой решетки СРГ 3–6 ГГц, испытания которой начались в 2021 г. Изображения строятся в реальном времени и публикуются на сайте <http://badary.iszf.irk.ru/srhCorrPlot.php>. Пример изображений показан на рис. 2.3.1.3.1.

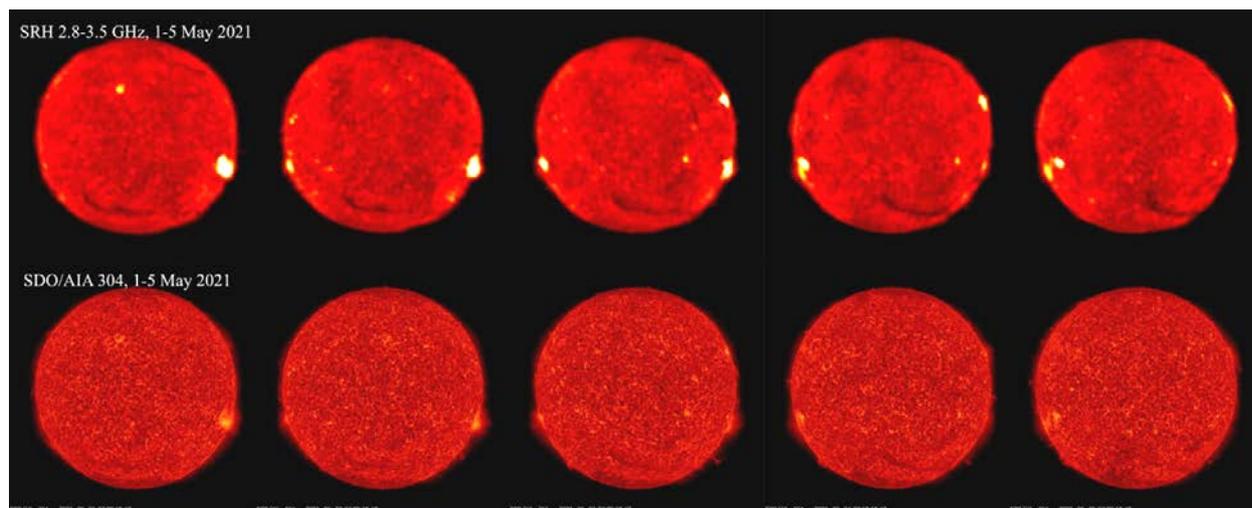


Рис. 2.3.1.3.1. Изображения, полученные с помощью СРГ 1–5 мая 2021 г. и усредненные в диапазоне частот 2.8–3.5 ГГц (вверху), и с помощью SDO/AIA на длине волны 304 Å за аналогичный период

Публикации:

Лесовой С.В., Глоба М.В. Измерение задержек в приемном тракте Сибирского радиогелиографа // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 4. С. 100–104. DOI: 10.12737/szf-74202110.

Глоба М.В., Лесовой С.В. Калибровка амплитуд коэффициентов передачи антенн Сибирского радиогелиографа с использованием избыточности // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 4. С. 105–111. DOI: 10.12737/szf-74202111.

2.3.1.4. Микроволновый индикатор потенциальной геоэффективности и жгутовая магнитная структура солнечной активной области

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов и к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — А.В. Кудрявцева, к.ф.-м.н. И.И. Мышьяков, д.ф.-м.н. А.М. Уралов, д.ф.-м.н. В.В. Гречнев.

Проведен анализ присутствия микроволнового источника над нейтральной линией (ИНЛ) в активной области NOAA 12673. Используемый метод идентификации ИНЛ основан на суперпозиции микроволновых изображений и рассчитанного распределения коронального магнитного поля на заданном высотном срезе атмосферы активной области. В результате проведенного исследования обнаружена сложная структура взаимосвязанных магнитных жгутов, расходящихся из области максимальных значений горизонтального магнитного поля вдоль всей главной линии раздела полярностей. Именно в этой области располагался ИНЛ, наблюдаемый по данным Сибирского радиогелиографа (СРГ-48) и Ра-

диогеолиографа Нобеяма. Данный микроволновый индикатор свидетельствует о возможности возникновения мощной солнечной вспышки и может быть использован для оценки геоэффективности активных областей. Оценка магнитного потока показала его уменьшение после каждой вспышки рентгеновского класса X6 7 сентября, что отражается в структуре расчетных силовых линий как уменьшение их плотности и исчезновение сегментов системы шировых аркад. Уменьшение спиральности указывает на наличие коронального выброса массы, сопровождающего вспышку.

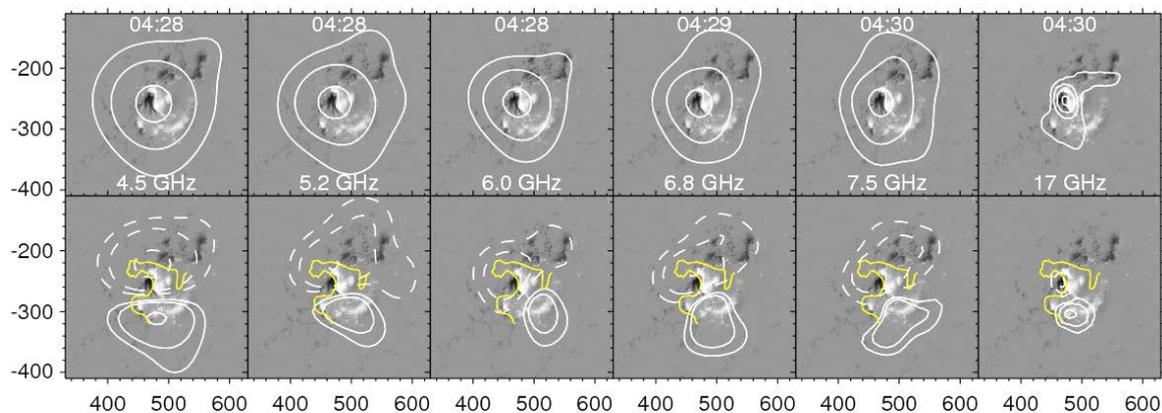


Рис. 2.3.1.4.1. ИНЛ в NOAA 12673 6 сентября за 4.5 ч до первой вспышки балла X2.2. Полутонным фоном представлена фотосферная продольная магнитограмма (04:30; светлый — положительная полярность, темный — отрицательная). Контуры в верхнем ряду — интенсивность, уровни [0.1; 0.3; 0.8] от максимума для СРГ и [0.03; 0.1; 0.3; 0.8] для NoRH. Белые контуры в нижнем ряду — круговая поляризация: сплошные — правая; штриховые — левая. Уровни для СРГ [0.15; 0.3; 0.8] от максимума каждой полярности, для NoRH — [0.1; 0.3; 0.8]. Желтый контур — нейтральная линия. Координаты указаны в угловых секундах от центра диска Солнца

Публикация:

Кудрявцева А.В., Мышьяков И.И., Уралов А.М., Гречнев В.В. Микроволновый индикатор потенциальной геоэффективности и жгутовая магнитная структура солнечной активной области // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 1. С. 3–12. DOI: 10.12737/szf-71202101.

2.3.1.5. Изучение астроклиматических характеристик и проблем улучшения качества изображений крупных солнечных телескопов

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев¹, д.ф.-м.н. П.Г. Ковадло¹, Л.А. Больбасова², А.А. Андраханов³

1 — ИСЗФ СО РАН

2 — ИОА СО РАН

3 — ТПУ

Развит подход к прогнозу основного параметра, определяющего качество астрономических изображений, — структурной характеристики флуктуаций показателя преломления воздуха на уровне апертуры телескопа с заблаговременностью 1–2 ч. Подход основан на данных мачтовых измерений средних значений составляющих скорости ветра, температуры, давления воздуха, а также применении нейронной сети и группового метода обработки данных GMDH. Метод с применением многослойной нейронной сети апробирован для разных атмосферных условий с разными значениями параметра Фрида и может быть в перспективе использован в краткосрочном прогнозе искажений волновых фронтов разных масштабов на апертуре телескопа (рис. 2.3.1.5.1).

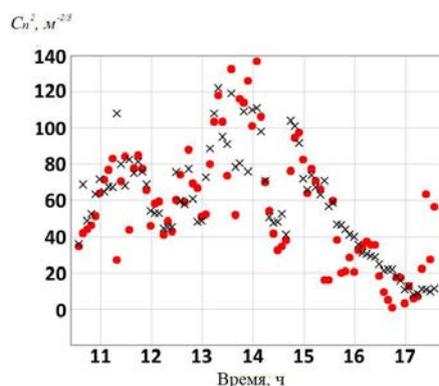


Рис. 2.3.1.5.1. Профиль ненормированной функции вариаций турбулентных флуктуаций показателя преломления воздуха. Параметр Фрида равен 5.7 см

Публикация:

Bolbasova L.A., Andrakhanov A.A., Shikhovtsev A.Yu. The application of machine learning to predictions of optical turbulence in the surface layer at Baikal Astrophysical Observatory // *Mont. Not. Royal Astron. Soc.* 2021. Vol. 504, iss. 4. P. 6008–6017. DOI: 10.1093/mnras/stab953.

2.3.1.6. Создание широкоугольного зеркального объектива

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов и к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — к.т.н. С.А. Чупраков, к.ф.-м.н. Д.Ю. Колобов., д.ф.-м.н. В.И. Скоморовский, Г.Г. Голушко, А.Н. Зернин

Создан экспериментальный вариант малого вспомогательного телескопа — «зеркального Райта» (ЗР-300) со светозащитным тентом на оптической трубе. Оптическая система телескопа ЗР-300 была полностью разработана и изготовлена в ИСЗФ СО РАН. В отчетном году в ферму телескопа внесены конструктивные изменения для обеспечения возможности удаленного управления. С целью повышения эффективности наблюдений телескоп дополнительно оснащен скоростной камерой. С помощью телескопа ЗР-300 с измененной конструкцией (рис. 2.3.1.6.1), установленного на монтажке АЗТ-33ИК в Саянской солнечной обсерватории, проведены первые экспериментальные наблюдения в широком поле зрения с диагональю кадров $2\omega=2.32^\circ$.



Рис. 2.3.1.6.1. Зеркальный Райт со светозащитным тентом на монтажке телескопа АЗТ-33ИК

3. Работа обсерваторий, Центр коллективного пользования «Ангара», Уникальные установки

3.1. Байкальская астрофизическая обсерватория



Рис. 3.1.1. Большой солнечный вакуумный телескоп (БСВТ)

Байкальская астрофизическая обсерватория (БАО) расположена в п. Листвянка в 70 км от Иркутска. Основным инструментом БАО является единственный в России Большой солнечный вакуумный телескоп (БСВТ), входящий в перечень уникальных установок Российской Федерации (рег. номер 01-29). Кроме того, в БАО функционируют три хромосферных телескопа, оборудованных интерференционно-поляризационными фильтрами (ИПФ) на

диагностически важные линии $\text{H}\alpha$ (656.3 нм) и K CaII (393.4 нм), а также Солнечный телескоп оперативных прогнозов нового поколения (СТОП-1), входящий в уникальную российскую сеть из трех идентичных инструментов для мониторинга солнечного магнетизма (два других расположены в Уссурийске и Кисловодске). В стадии отладки находится СОЛнечный СИноптический Телескоп (СОЛСИТ), на котором в отчетном году продолжены пусконаладочные мероприятия.

Основные задачи обсерватории — мониторинг солнечной активности и проблемно-ориентированные спектральные, спектрополяризметрические и фильтровые наблюдения нестационарных процессов в солнечной атмосфере с целью исследования механизмов их возникновения.

Благодаря наблюдениям на инструментах обсерватории были получены важные экспериментальные данные для решения научных задач, поставленных в программе фундаментальных исследований СО РАН, проектах РФФИ и РНФ, а также грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук.

В 2021 г. проводились работы по модернизации аппаратуры БСВТ, разработке и совершенствованию методов наблюдений:

- настройка элементов адаптивной оптики БСВТ и проведение измерений искажений волнового фронта;
- измерения волновых фронтов в скрещенных оптических пучках по изображениям одиночного солнечного пятна или группы пятен;
- измерения средних и турбулентных характеристик атмосферы.

В 2021 г. продолжались регулярные наблюдения хромосферы Солнца (полный диск) в линии K CaII 393.4 нм (А.А. Жданов, А.В. Овчаров, А.А. Головки). В течение 69 дней наблюдений с января по ноябрь получено 618 изображений хромосферы.

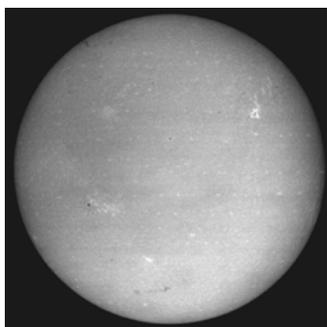


Рис. 3.1.2. Изображение хромосферы Солнца в линии $\text{H}\alpha$ 656.3 нм 4 июня 2021 г.

В 2021 г. в БАО проводились регулярные наблюдения хромосферы Солнца (полного диска) в линии $\text{H}\alpha$ 656.3 нм (А.А. Жданов, А.В. Овчаров, А.А. Головки). В течение 38 дней наблюдений получено 7830 изображений полного диска. На рис. 3.1.2 приведено изображение хромосферы, полученное 4 июня 2021 г.

Для получения магнитограмм полного диска Солнца выполнялись наблюдения (30 дней) на СТОП-1.

В обсерватории выполняли также экспериментальные работы и другие институты СО РАН: Институт оптики атмосферы (г. Томск) и Лимнологический институт. Проводились многочисленные экскурсии для школьников, студентов и гостей обсерватории и Института.

3.2. Саянская солнечная обсерватория



Рис. 3.2.1. Саянская солнечная обсерватория. Общий вид

Саянская солнечная обсерватория (ССО) ИСЗФ СО РАН расположена на территории Тункинского района Бурятии (Россия) на высоте 2000 м, в районе с. Монды, в 320 км от г. Иркутска.

Основные задачи обсерватории — исследования Солнца, звезд и космического пространства, а также мониторинг околоземного космического пространства, включая ИСЗ и космический мусор.

Помимо этого, на территории обсерватории ведутся наблюдения в интересах других подразделений Института и других институтов СО РАН, в частности, регистрация земных токов (ответственный зав. КМИО И.С.Москалев); мониторинг состояния ионосферы по данным GPS-приемников (Ю.В. Ясюкевич) и измерений доплеровского эффекта (В.В. Харченко); исследования загрязнения атмосферы (совместно с ЛИИ СО РАН), атмосферного электричества (А.А. Луковникова), астроклимата (А.Ю. Шиховцев и П.Г. Ковадло совместно с ИОА СО РАН), метеорологических параметров (М.В. Еселевич, А.А. Луковникова), метеорной активности (совместно с ИГУ, С.А. Язев). Научные результаты на основе таких наблюдений представлены ответственными исполнителями в соответствующих разделах отчета или находятся в стадии обработки. На телескопе АЗТ-33ИК в 2021 г. выполнены наблюдения площадок космических гамма-всплесков (GRB) с целью обнаружения и измерения послесвечения в оптическом диапазоне.

В рамках наземной поддержки программы научных наблюдений рентгеновской орбитальной обсерватории «Спектр-РГ» на телескопе АЗТ-33ИК выполнялись работы по ее оптическому сопровождению. Проводились оптические наблюдения скоплений галактик, квазаров и других источников, обнаруженных в рентгеновском обзоре всего неба обсерватории «Спектр-РГ».

В течение 22 ночей на телескопе АЗТ-33ИК выполнялись фотометрические измерения в различных фильтрах площадки в окрестности звезды ВР Рsc. В октябре и ноябре 2021 г. в течение нескольких наблюдательных ночей были получены фотометрические и спектральные измерения звезд в окрестности отражательной туманности DG169 в созвездии Лебедя. С марта по октябрь 2021 г. было получено 23 спектральных измерения новой звезды V1405 Cas.

Для получения измерительной информации, необходимой для уточнения параметров траектории движения космического аппарата (КА) «Спектр-РГ», находящегося на галлоорбите в окрестности точки L2 системы Солнце—Земля, на телескопе АЗТ-33ИК проводились регулярные астрометрические измерения этого КА.

На модернизированном телескопе АЗТ-14А проводились регулярные траекторные измерения высокоорбитальных космических объектов (КО).

В рамках работы по договору «Информационное обеспечение автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве в части предоставления информации от телескопа АЗТ-33ИК и телескопа АЗТ-33ВМ» в 2021 г. на телескопах АЗТ-33ИК и АЗТ-33ВМ проводились регулярные наблюдения искусственных КО и космического мусора.

На телескопе АЗТ-33ИК в течение 214 наблюдательных ночей проводились регулярные фотометрические измерения 50 КА на геостационарной и средневысотных орбитах.

Были выполнены измерения 106 каталогизированных КО. Общее число серий измерений — 1168, количество отдельных измерений — 16918.

На СТОП выполнялись наблюдения крупномасштабных фоновых магнитных полей и общего магнитного поля Солнца как звезды. Данные наблюдения актуальны для исследований глобального магнетизма Солнца, а также решения ряда проблем, связанных с космической погодой. Получено 385 магнитограмм и проведено 233 измерения общего магнитного поля.

На Саянском спектрографическом комплексе космических лучей (КЛ) проводилась непрерывная регистрация вариаций КЛ и атмосферного давления с минутным и часовым разрешением.

Данные наблюдений представлены on-line на сайте 84.237.21.4, в виде графиков и текстовых файлов хранятся на ftp-сервере и в базе данных в ИСЗФ СО РАН, обновляются в международной базе данных nmdb.eu, а также представлены в Мировом центре данных по солнечно-земной физике (МЦД по СЗФ). На станции КЛ, расположенной на высоте 3000 м, совместно с Полярным геофизическим институтом (Апатиты, Россия) проводится мониторинг гамма-излучения в энергетическом диапазоне 20–400 КэВ.

Для обеспечения в режиме реального времени стабильной работы станций КЛ проводились профилактические работы с заменой неисправного оборудования. Данные наблюдений представлены на сайтах <http://cgm.iszf.irk.ru/>, <http://www.nmdb.eu>, <https://cidas.isee.nagoya-u.ac.jp/WDCCR>. По данным наблюдений опубликовано семь статей.

На Автоматизированном солнечном телескопе (АСТ) проходили наблюдения для получения экспериментальных данных с целью исследования структуры и динамики различных образований в солнечной атмосфере, колебаний и волн в фотосфере и хромосфере Солнца методами спектрополяриметрии.

Табл. 3.2.1. Наблюдения на АСТ в 2021 г.

Объект наблюдения	Спектральные линии	Март	Апрель	Июнь	Итого
пятно	Na 6563 + CaII 8542	3	4	3	10
факел		2	1	2	5
лимб		2	–	2	4
спокойное Солнце		1	1	3	5

За год получено 24 временных серии средней длительностью 1 ч 55 мин и сделано 18 сканов средней длительностью около 4 мин. Помимо рабочих серий сделано 46 калибровочных серий.

По проекту «SkyLine», в рамках которого ИГУ были установлены метеорные камеры на площадке ССО, в 2021 г. в общей сложности проведено 2117 ч наблюдений. Зарегистрировано 3027 метеорных событий, принадлежащих к метеорным потокам Квадрантиды, Лириды, Северные Тауриды, Кассеопиды, Персеиды, Ориониды, Дракониды и Леониды, а также спорадических. Получено 58 спектральных регистраций.

На базе ССО проводились выездные практики студентов ИСЗФ СО РАН и ИГУ. Студенты базовой кафедры ИСЗФ СО РАН и ИГУ «Метеорология и околоземное космическое пространство» на базе Саянской солнечной обсерватории прошли актинометрическую практику.

В ССО работали сотрудники Института космических исследований РАН, Специальной астрофизической обсерватории РАН. Регулярно проводятся экскурсии для школьников, студентов и гостей обсерватории.

3.3. Радиоастрофизическая обсерватория



Рис. 3.3.1. Общий вид РАО с тремя Т-образными антенными решетками ССРТ и 1-метровый элемент антенной решетки 12–24 ГГц

Радиоастрофизическая обсерватория (РАО) ИСЗФ СО РАН расположена в урочище Бадары Тункинского района Республики Бурятия. Основными инструментами являются уникальный Сибирский солнечный радиотелескоп (ССРТ) и комплекс спектрополяриметров с общим диапазоном 0.05–24 ГГц. ССРТ состоит из трех радиогелиографов с диапазонами 3–6, 6–12 и 12–24 ГГц, которые круглый год независимо от погодных условий позволяют получать двумерные радиоизображения Солнца в течение всего светового дня.

Табл. 3.3.1. Основные параметры ССРТ

Общий диапазон рабочих частот	3–24 ГГц
Мгновенная полоса частот	10 МГц
Угловое разрешение	4–22 угл. сек.
Чувствительность по компактным источникам	до 0.01 с.е.п.

Время накопления, количество частотных каналов, а соответственно, и чувствительность — переменные параметры, определяемые научной задачей. Общий вид антенной системы РАО приведен на рис. 3.3.1, а основные параметры ССРТ — в табл. 3.3.1.

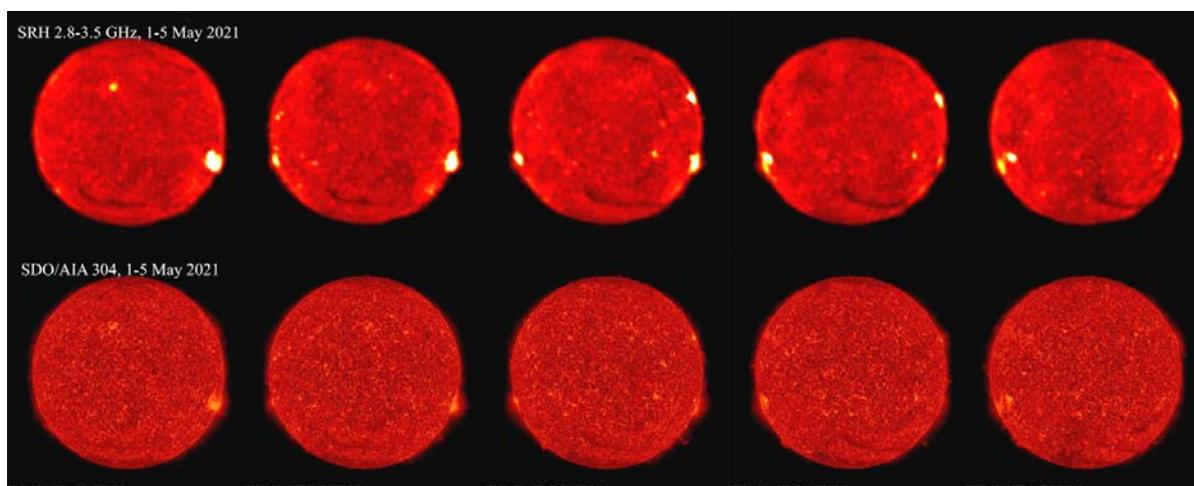


Рис. 3.3.2. Радиоизображения Солнца (вверху), полученные на ССРТ в поддиапазоне 3–6 ГГц, и изображения, полученные на SDO в линии 304 Å

В 2021 г. в РАО активно проводился монтаж и настройка всех антенных систем радиогелиографов. Выполнена настройка и калибровка приемных трактов; проведена большая работа по фазировке и настройке приемных систем; разработана уникальная методика калибровки приемных систем по наблюдаемому объекту; создано программное обеспечение приемных, гетеродинных и синхронизирующих систем; реализована интеграция в глобальный научный астрономический пакет CASA; написано программное обеспечение для управления новыми антеннами ССРТ. Громадный вклад сотрудников РАО позволил получить тестовые радиоизображения солнечной активности на качественно новом уровне. Данные ССРТ показывают хорошее согласие с данными космических обсерваторий (рис. 3.3.2), они были апробированы на международных симпозиумах и получили признание в мировом сообществе по солнечной радиоастрономии. К сожалению, из-за срыва строительной части проекта «Национальный гелиогеофизический комплекс», начать регулярные наблюдения на данном научном оборудовании не представляется возможным.

В 2021 г. в РАО ИСЗФ СО РАН проводились многочисленные экскурсии для школьников, студентов и гостей обсерватории. Общий штат сотрудников обсерватории составляет порядка 40 человек, из них 15 человек научно-технического персонала.

3.4. Геофизическая обсерватория

Геофизическая обсерватория (ГФО) расположена в 150 км от г. Иркутска в Республике Бурятия вблизи с. Торы (103° E, $51^{\circ}42'$ N, высота над уровнем моря 530 м).



Рис. 3.4.1. Геофизическая обсерватория: технический (слева) и административно-хозяйственный корпуса

Экспериментальная база ГФО включает следующее оборудование.

- Широкоугольная высокочувствительная фотокамера ФИЛИН-1Ц (Фотокамера для Исследования Люминесцентного Излучения Неба) на базе ПЗС-матрицы для регистрации и исследования собственного излучения атмосферы, его пространственно-временных вариаций, естественных и искусственных космических объектов (метеоров, космических аппаратов), контроля прозрачности атмосферы и решения некоторых других задач.

- Патрульный спектрометр САТИ-1М с низким спектральным разрешением для регистрации спектрального состава и пространственного распределения собственного излучения верхней атмосферы Земли. Основное назначение — исследование возмущений в основных эмиссионных линиях и полосах (OI 557.7 и 630.0 нм, NaI 589.0–589.6 нм и др.) при гелиогеофизических возмущениях различной природы. Позволяет получать двумерное изображение дуги небесной сферы в диапазоне длин волн 400–700 нм.

- Спектрометр (ИКС-1) для измерения вращательной температуры нейтральной атмосферы на высотах 80–100 км и интенсивности излучения ночного неба в спектральном диапазоне 820–870 нм.

- Высокочувствительная оптическая система регистрации быстрых вариаций (~5–100 мс) излучения ночного неба на базе электронно-оптического преобразователя (ЭОП) ЭПМ102Г-04-22С и ПЗС-камеры SDU-R259. Для исследования быстрых вариаций в спектральном распределении излучения ночного неба и для работы при высокой освещенности (зодиакальный свет, Луна) оптическая система работает в составе высокочувствительного спектрографа на базе монохроматора МДР-2.
- Спектрограф на базе монохроматора МДР-12 и ПЗС-камеры CSDU-423 для регистрации спектрального состава и пространственного распределения собственного излучения верхней атмосферы Земли.
- Сканирующий интерферометр Фабри — Перо КЕО Arinae для измерения температуры и скорости ветра на высотах высвечивания эмиссий.
- Солнечный фотометр CIMEL-CE-318 для измерений прозрачности и влагосодержания в атмосфере.
- Широкоугольная оптическая система КЕО Sentinel для регистрации пространственной картины интенсивности эмиссии 630 нм.
- Инфразвуковая станция для выделения акустических сигналов инфразвукового диапазона в атмосфере Земли.
- Цифровое многоканальное приемно-передающее устройство, позволяющее работать в режимах ЛЧМ (вертикальное, наклонное, возвратно-наклонное зондирование) и фиксированных частот (доплеровские измерения). Набор антенно-фидерных устройств позволяет работать в КВ- и УКВ-диапазонах.

Данные наблюдений ГФО

В 2021 г. проводился патрульный мониторинг интенсивности естественного ночного свечения верхней атмосферы. Полученные данные составили ряды интенсивности линий свечения атомарного и молекулярного кислорода, гидроксила, вращательной температуры гидроксила, скорости и направления ветра на высотных уровнях 89, 97 и 250 км, температуры на высотах 89, 97 и 250 км. Начаты наблюдения спектрального состава свечения верхней атмосферы и динамики его малых компонент во всем видимом диапазоне с помощью спектрометра с высокой разрешающей способностью.

Проведены работы по запуску в эксплуатацию нового оборудования пускового объекта НГК «Оптические инструменты» в ГФО. В новом техническом здании установлены восемь вспомогательных устройств для проведения наблюдений с новыми оптическими инструментами. Появилась возможность регулярно автоматически перемещать инструменты в рабочее подкупольное пространство и в положение для защиты от солнечного излучения, а также для регламентного обслуживания и ремонтных работ. На крыше строящегося технического здания установлены прозрачные акриловые купола для проведения наблюдений. Выполнены процедуры по юстировке оптических инструментов. Проведены первые тестовые наблюдения для проверки работоспособности всех систем созданного первого пускового объекта «Оптические инструменты» НГК РАН.

В 2021 г. проводился мониторинг инфразвуковых сигналов на инфразвуковой станции с помощью трехпозиционной станции, оснащенной микробарографами.

Проводились непрерывные наблюдения на многофункциональном цифровом ионозонде вертикального и наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом «Ионозонд-МС». Были получены данные с наклонных трасс Норильск—Торы, Магадан—Торы, Кипр—Торы. Были получены также данные вертикального и слабонаклонного зондирования на трассе Усолье—Торы. Проведена обработка полученных данных и пополнен архив данных.

Данные наблюдений приборов, установленных в ГФО, передаются через интернет на серверы ИСЗФ СО РАН. По большинству приборов предварительно обработанные данные доступны на сайтах ИСЗФ СО РАН <http://atmos.iszf.irk.ru/> и <http://dep1.iszf.irk.ru>.

В 2021 г. в обсерватории проводилась учебная практика студентов МГУ (г. Москва), экскурсии студентов ИГУ (г. Иркутск) и школьников городов Иркутска и Улан-Удэ.

3.5. Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы

Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы (ОРДА) ИСЗФ СО РАН расположена вблизи г. Усолье-Сибирское на территории одной из войсковых частей Министерства обороны РФ на удалении 125 км от г. Иркутска.

Задачами обсерватории являются:

- регулярные наблюдения вариаций параметров ионосферы для разных времен суток, сезонов, уровней солнечной и геомагнитной активностей;
- наблюдение мощных когерентных отражений во время геомагнитных возмущений;
- наблюдение распространения волновых возмущений, приходящих из полярной области ионосферы;
- наблюдение звездных радиоисточников в пассивном режиме;
- наблюдение космических объектов, контроль окружающего космического пространства;
- обслуживание и модернизация научного оборудования, входящего в состав обсерватории.



Рис. 3.5.1. Общий вид ИРНР

Экспериментальная база ОРДА включает в себя следующее научное оборудование.

- Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР), общий вид которого показан на рис. 3.5.1. Радар входит в перечень уникальных установок национальной значимости (рег. № 01-28), информация представлена в разделе «Уникальная установка Иркутский радар некогерентного рассеяния», <http://ckp-rf.ru/usu/77733/>.

- Передающий пункт многопозиционного ЛЧМ-ионозонда, входящий в ЦКП «Ангара», <http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>.

В 2021 г. на научном оборудовании в ОРДА проводился ряд экспериментов, предназначенных для отработки новых методик, модернизации аппаратуры и программного обеспечения (ПО):

- обнаружение и регистрация космических объектов (КО) в рамках реализации составной части (СЧ) проекта «Подготовка и участие в эксперименте по совместным наблюдениям малоаметных космических объектов привлекаемых средств в составе демонстрационного образца», шифр «Горизонт-ИСЗФ»;

- долговременные режимы сканирования для поиска КО в рамках СЧ проекта «Горизонт–ИСЗФ»;
- измерение параметров модернизированных выносных приемных устройств (ВУП);
- накопление статистики при работе системы синхронизации ИРНР–РЛК "Воронеж".

Иркутский радар некогерентного рассеяния

В 2021 г. проводились следующие работы по модернизации аппаратуры и ПО ИРНР:

- модернизирована система защиты и усиления ВУП;
- доработано ПО обработки ионосферной информации в режиме реального времени;
- доработано ПО обработки спутниковой информации в режиме реального времени;
- модернизирована система отображения текущей информации и контроля ИРНР.

Общее время наблюдений в активном режиме (в сутках) — 82 (в том числе работы по СЧ проекта «Горизонт-ИСЗФ»), в остальное время наблюдения велись в пассивном режиме.

Передающий пункт многопозиционного ЛЧМ-ионозонда

В 2021 г. на передающем пункте ЛЧМ-ионозонда выполнены работы по замене системы воздушной вентиляции коротковолновых передающих устройств на более производительную систему вентиляции, проведена доработка функционального программного обеспечения.

Общее время работы передающего пункта на трассе ОРДА–ГФО составило ~345 сут. Доступ к информации для внешнего пользования осуществляется по запросам на сайт ИСЗФ СО РАН <http://rp.iszf.irk.ru:8080/iisr/>; <http://iszf.irk.ru>.

3.6. Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория

Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория (КМИО) включает широкий комплекс геофизических инструментов для наблюдения геомагнитного поля и параметров ионосферы. КМИО имеет четыре научных геофизических стационара: два на территории Иркутской области (Патроны, Узур) и два в других регионах России — Красноярском крае (Норильск) и Бурятии (Монды). В обсерватории ведется круглосуточный круглогодичный мониторинг состояния ионосферы и электромагнитного поля Земли в широком диапазоне периодов.

3.6.1. Магнитная обсерватория (п. Патроны)



Рис. 3.6.1.1. Лабораторное здание МО «Иркутск» (слева) и вариационный павильон

Магнитно-метеорологическая обсерватория в Иркутске была одной из первых, открытых в конце XIX в. в Российской империи по решению Государственного Совета, принятому в 1884 г. Ежечасные измерения магнитного поля Земли (МПЗ) были начаты 1 января 1887 г. В 1905 г. в обсерватории были установлены фоторегистраторы для непрерывной записи вариаций трех компонент магнитного поля. Основные методы измерений и обработки данных сохранялись неизменными до конца XX в. В 1996 г. была начата непрерывная цифровая регистрация вариаций геомагнитного поля и компьютерная обработка данных. Данные публиковались в трудах Главной геофизической обсерватории, Русского географического общества, ИЗМИРАН, МЦД-Б2 и широко использовались в геофизической науке и специальных исследованиях. Магнитная обсерватория (МО) неоднократно участвовала в подготовке полярных научно-исследовательских экспедиций (1972–1986 гг.) и в различных международных научных программах. В настоящее время МО расположена в пос. Патроны в 21 км от Иркутска. Она оснащена современными стандартными и уникальными магнитометрическими инструментами для экспериментального исследования магнитного поля Земли путем непрерывной регистрации его абсолютных значений и вариаций.

С 1996 г. МО «Иркутск» благодаря неизменно высокому качеству получаемого наблюдательного материала включена в мировую сеть магнитных обсерваторий «Интермагнет». Архивы обсерватории хранят непрерывный ряд данных с 1887 г.

В МО «Иркутск» проводится непрерывный круглосуточный мониторинг вариаций геомагнитного поля тремя сериями магнитометров:

- трехкомпонентной феррозондовой станцией Lemi-018;
- трехкомпонентной станцией «КВАРЦ»;
- трехкомпонентной магнитовариационной станцией «МВС».

Абсолютные измерения полного вектора МПЗ проводятся оверхаузеровским протонным магнитометром POS-1, а склонения и наклонения элементов МПЗ — инклинометром/деклинометром MAG-001 фирмы «Бартингтон» (Англия, на теодолите фирмы «Цейсс»).

Данные о вариациях МПЗ через интернет передаются в Институт каждые 15 мин и выставляются на сайте Института.

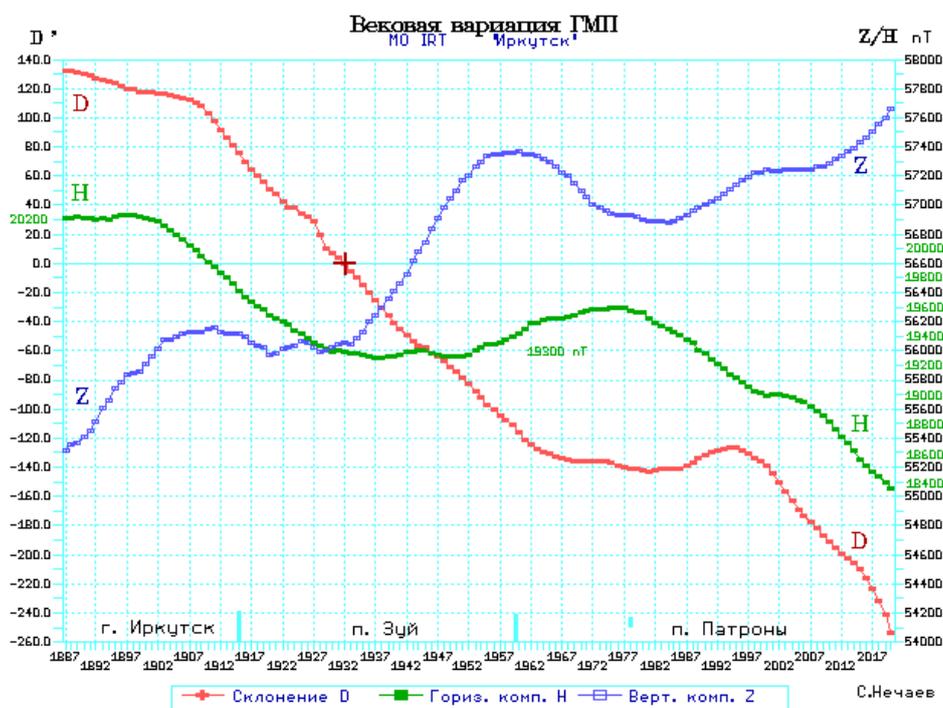


Рис. 3.6.1.2. Вековой ход компонент МПЗ за все годы наблюдения в районе Иркутска

3.6.2. Байкальская магнитно-теллурическая обсерватория

Байкальская магнитно-теллурическая обсерватория (БМТО) расположена на севере о. Ольхон оз. Байкал в п. Узуры в 350 км от Иркутска.

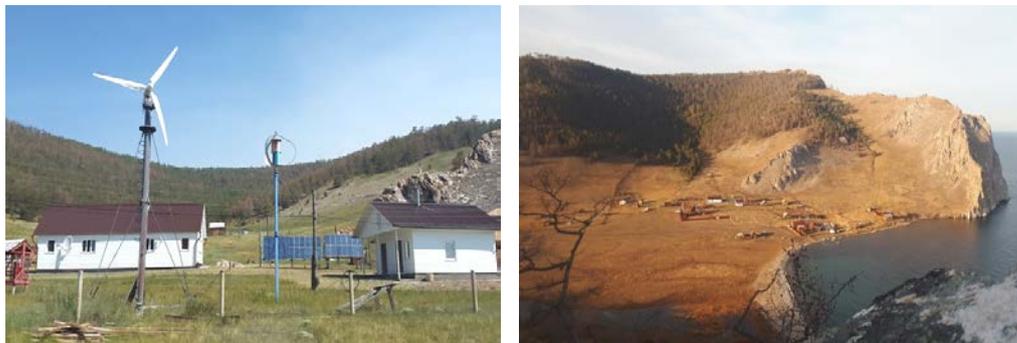


Рис. 3.6.2.1. Основные здания и сооружения БМТО (слева), на переднем плане и в глубине — элементы солнечно-ветровой электростанции); общий вид на п. Узуры

С 1957 до 1960 г. сотрудником Иркутской комплексной магнитно-ионосферной станции П.А. Виноградовым проводились пробные измерения электромагнитного фона в различных регионах Иркутской области в поисках местности с минимумом электромагнитных помех. Наиболее приемлемым оказалось место на севере о-ва Ольхон на Байкале — урочище Узуры. В 1960 г. там были развернуты наблюдения земных токов по временной схеме. Одновременно под руководством П.А. Виноградова сотрудниками лаборатории земного электричества и короткопериодических колебаний СибИЗМИР возводились основные здания и сооружения будущей БМТО. После завершения строительства в обсерватории были развернуты по полной схеме наблюдения вариаций теллурических полей на установке земных токов и магнитных колебаний с помощью магнитовариационных станций. С 1973 г. началось обновление регистрирующей аппаратуры обсерватории. Были установлены разработанные в СибИЗМИР и изготовленные на опытном заводе СО РАН магнитометры, замененные в конце 1990-х гг. цифровыми индукционными приборами. Для обеспечения электропитания в обсерватории была установлена солнечная электростанция мощностью около 2 кВт.

В настоящее время в БМТО функционирует обширный геофизический комплекс круглосуточного мониторинга параметров ближнего космоса, в который входят следующие приборы:

- Магнитотеллурическая цифровая станция LEM1-418, осуществляющая измерение вектора вариаций геомагнитного поля 0–0.1 Гц, трех компонент вектора индукции переменного геомагнитного поля в диапазоне 0.01–200 Гц и трех компонент теллурических токов 0.01–200 Гц, включая вертикальную составляющую. БМТО «Узур» — единственная станция в России, где проводятся измерения вертикальной компоненты земных токов.

- Колечная установка для калибровки датчиков индукционных магнитометров и регистрации вертикальной компоненты ЭМПЗ в диапазоне 0–300 Гц.

В последние годы в сотрудничестве с другими подразделениями Института на территории БМТО для выполнения комплексных исследований были размещены дополнительные средства геофизических наблюдений, а именно:

- приемник сигналов навигационных спутников системы GPS/GLONAS для определения полного электронного содержания в ионосфере и магнитосфере;
- электростатический флюксометр для измерения вертикального градиента потенциала электрического поля атмосферы;
- приемник сейсмосигналов для исследования землетрясений в Байкальской рифтовой зоне.

3.7. Норильская магнитно-ионосферная станция



Рис. 3.7.1. Норильская КМИС. Лабораторный корпус

Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция (КМИС, первоначальное название «Полярный космофизический полигон») образована в 1963 г. Это самый удаленный полигон ИСЗФ СО РАН.

Норильск был выбран для расположения станции как крупный населенный пункт, ближайший к северной зоне полярных сияний. В 1970-е гг. штат станции доходил до 60 чел. Первым руководителем Норильской КМИС был Г.А. Жеребцов, позднее возглавлявший Институт, ныне академик РАН, научный руководитель ИСЗФ СО РАН.

При проведении высокоширотных экспедиций, организованных Институтом на станциях Норильского меридиана в 1972–1984 гг., Норильская КМИС была базовым пунктом, где производилась подготовка аппаратуры и наблюдателей. В периоды проведения высокоширотных экспериментов все штатные геофизические наблюдения на Норильской КМИС проводились по расширенной программе и, как правило, к ним добавлялись виды геофизических наблюдений, необходимые для планируемого эксперимента.

Норильская КМИС и в настоящее время является важнейшим звеном мировой сети станций мониторинга околоземного космического пространства. Получаемые данные используются в отечественных и международных исследовательских программах. Активное участие Норильская КМИС принимает в общенациональной программе исследований Российской Арктики.

В настоящее время на Норильской КМИС магнитометрические измерения проводятся с помощью трехкомпонентной феррозондовой станции Lemi-008 и трехкомпонентной станции «КВАРЦ».

Абсолютные измерения полного вектора магнитного поля Земли ведутся оверхаузеровским протонным магнитометром POS-1, а склонение и наклонение элементов МПЗ — инклинометром/деклинометром MAG-001 фирмы «Бартингтон» (Англия, на теодолите фирмы «Цейсс»).

Радиофизические измерения и регистрацию космических лучей осуществляют цифровой дигизонд DPS-4 и ЛЧМ-приемник (мониторинг параметров ионосферы) и супермонитор NM64 (регистрация частиц солнечного и галактического происхождения, достигающих поверхности Земли).

Данные всех измерений через интернет передаются в Институт.

3.7.1. Выносной наблюдательный пункт Исток



Рис. 3.7.1.1. Пункт «Исток» (общий вид)

Выносной наблюдательный пункт (НП) «Исток» Норильской КМИС ИСЗФ СО РАН расположен в тундре в 100 км от г. Норильск на оз. Пясино и предназначен для мониторинга оптических и космофизических явлений в высоких широтах в условиях минимума промышленных и оптических (подсветка города) помех. В настоящее время в НП «Исток» ведется непрерывная круглосуточная регистрация сигналов навигационных систем, вариаций и абсолютных значений магнитного поля Земли, интенсивности космических лучей, авроральных оптических явлений. Эти данные используются при прогнозировании геомагнитных возмущений, условий дальнего распространения радиоволн, условий работы орбитальных космических аппаратов.

В НП «Исток» установлены следующие инструменты.

- Индукционный магнитометр Lemi-30 для регистрации геомагнитных пульсаций.
- Приемник сигналов навигационных систем ГЛОНАСС/GPS Javad-DELTA-G3T с антенной RingAnt-G3T.
- Оптический комплекс, включающий спектрограф Shamrock 303i и широкоугольные обзорные камеры CSDU-285 и SDU-415C.

Система спутникового интернета позволяет отправлять данные наблюдений на сервер Института практически со всех инструментов КМИС с любой скважностью, вплоть до реального времени.

3.8. Центр коллективного пользования «Ангара»

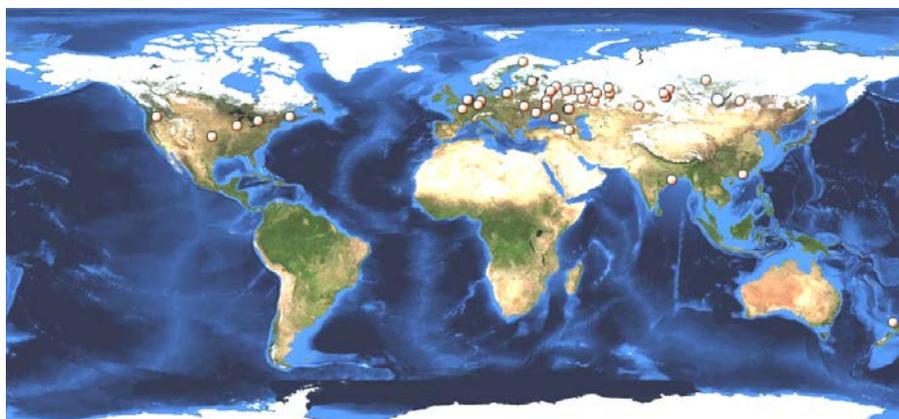


Рис. 3.8.1. Пункты обращения к сайту ЦКП «Ангара» в 2021 г.

ЦКП «Ангара» представляет собой ряд инструментов нового поколения, которые позволяют получать уникальные данные по солнечной активности и ее проявлениям в околоземном космическом пространстве. Инструменты и установки расположены в обсерваториях ИСЗФ СО РАН. В настоящее время в ЦКП «Ангара» входит следующее научное оборудование:

- Автоматизированный солнечный телескоп;
- Астроизмерительный комплекс;
- Комплекс цифровых ионозондов DPS-4;
- Магнитометрический комплекс;
- Многопозиционный ионозонд с линейной частотной модуляцией излучаемого сигнала (ЛЧМ-ионозонд);
- Оптический комплекс;
- Прибайкальская сеть приемников ГЛОНАСС/GPS;
- Саянский спектрографический комплекс космических лучей;
- Сеть когерентных ионосферных КВ-радаров;
- Солнечный телескоп оперативных прогнозов;
- Иркутский радар некогерентного рассеяния — уникальная научная установка рег. № 01-28.

В 2021 г. на оборудовании ЦКП велась регулярная работа по мониторингу состояния околоземного космического пространства. Результаты наблюдений использованы при выполнении программы фундаментальных научных исследований. Сайт ЦКП функционирует в сети Интернет (<http://ckp-angara.iszf.irk.ru/>).

3.9. Уникальные научные установки

3.9.1. Сибирский солнечный радиотелескоп (рег. номер 01-27)

Сибирский солнечный радиотелескоп (ССРТ) включает в себя три Т-образных радиогелиографа с общим количеством антенных постов 528 и максимальной базой ~1 км. В рабочей полосе регистрируемых частот 3–24 ГГц ССРТ способен достигать пространственного разрешения 4 угл. сек. Количество частотных каналов — условно-свободный параметр, определяемый научной задачей при проведении наблюдений. Телескоп находится в Тункинской долине между хребтами Восточный Саян и Хамар-Дабан в 220 км от Иркутска.



Рис. 3.9.1.1. Антенны Сибирского солнечного радиотелескопа

Основные научные задачи ССРТ:

- всепогодный ежедневный мониторинг солнечной активности с высоким временным разрешением и высокой чувствительностью;
- исследование геоэффективных событий в солнечной атмосфере (активных областей, выбросов корональной массы, потоков энергичных частиц, ударных волн) по их микроволновому излучению с высоким пространственным и временным разрешением (с привлечением в случае необходимости данных других диапазонов);
- исследование механизмов нагрева хромосферы во время солнечных вспышек;
- исследование структуры атмосферы, магнитных полей и движений плазмы в солнечных пятнах и активных областях;
- развитие методов диагностики и прогноза геоэффективных явлений;
- создание новых методов измерений параметров солнечной атмосферы;
- исследование динамики источников импульсного микроволнового излучения во время солнечных вспышек, диагностика вспышечной плазмы и области энерговыделения;
- анализ процессов и условий формирования корональных выбросов массы;
- исследование механизмов нагрева солнечной короны: активные области, яркие корональные точки, корона над корональными дырами;
- разработка методов прогнозирования мощных солнечных вспышек и корональных выбросов масс.

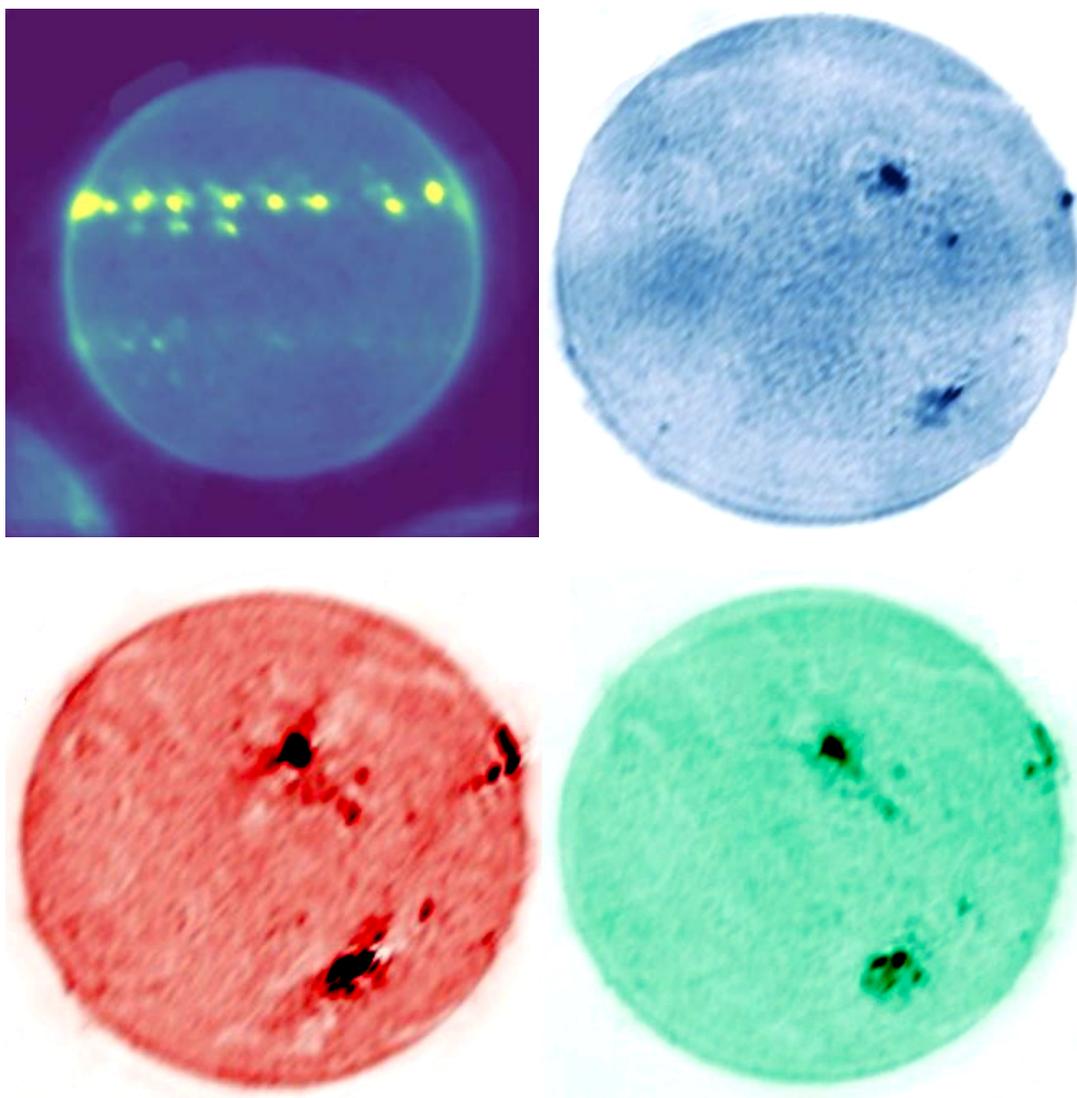


Рис. 3.9.1.2. Радиоизображения Солнца, полученные на ССРТ

В табл. 3.9.1.1 показан график загрузки УНУ ССРТ за 2021 г. (в часах) с указанием организации-пользователя данных.

Таблица 3.9.1.1. График загрузки УНУ ССРТ за 2021 г.

Январь		Февраль		Март		Апрель		Май		Июнь	
186	ИСЗФ	168	ИСЗФ	255	ИСЗФ	245	ИСЗФ	180	ИСЗФ	200	ИСЗФ

Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Ноябрь		Декабрь	
280	ИСЗФ	250	ИСЗФ	240	ИСЗФ	248	ИСЗФ	240	ИСЗФ	186	ИСЗФ

В результате отлаженной работы для наблюдений используется все доступное световое время, которое в 2021 г. составило 2678 ч.

ССРТ в каталоге уникальных научных установок: <http://ckp-rf.ru/usu/73606/>.

Ежедневные изображения и данные наблюдений доступны на сайте <http://badary.iszf.irk.ru/>. Архив данных доступен на ресурсе: <ftp://ftp.rao.istp.ac.ru/>.

3.9.2. Иркутский радар некогерентного рассеяния (рег. номер 01-28)

Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР) находится на территории Обсерватории радиофизической диагностики атмосферы ИСЗФ СО РАН.



Рис. 3.9.2.1. Управляющий приемно-регистрационный комплекс ИРНР

Основные научные задачи ИРНР:

- регулярные наблюдения вариаций параметров ионосферы для разных времен суток, сезонов, уровней солнечной и геомагнитной активностей;
- исследование мощных когерентных отражений во время геомагнитных возмущений;
- наблюдение распространения волновых возмущений, приходящих из полярной области ионосферы;
 - наблюдение и сопровождение звездных радиоисточников в пассивном режиме;
 - наблюдение космических объектов.

В 2021 г. проводились следующие работы по модернизации аппаратуры и программного обеспечения ИРНР:

- модернизирована система защиты и усиления выносных приемных устройств;
- доработано программное обеспечение обработки ионосферной информации в режиме реального времени;
- доработано программное обеспечение обработки спутниковой информации в режиме реального времени;
- модернизирована система отображения текущей информации и контроля ИРНР.

С января по декабрь 2021 г. на ИРНР был проведен ряд измерений в штатном и экспериментальных режимах. Штатный режим подразумевает измерения, проводимые с целью получения параметров ионосферной плазмы с использованием всех возможностей комплекса ИРНР (передающие и приемные устройства, накопление, обработка и хранение всего объема первичных данных). Помимо штатных наблюдений, проводились эксперименты, необходимые для отработки новых методик, модернизации аппаратуры и программного обеспечения:

- обнаружение и регистрация космических объектов (КО) в рамках реализации СЧ проекта «Подготовка и участие в эксперименте по совместным наблюдениям малозаметных космических объектов привлекаемых средств в составе демонстрационного образца», шифр «Горизонт-ИСЗФ»;

- долговременные режимы сканирования для поиска КО в рамках СЧ проекта «Горизонт-ИСЗФ»;

- калибровка приемного тракта;

- зондирование дальних космических объектов — Луны и Солнца;

- измерение параметров модернизированных выносных приемных устройств;

- накопление статистики при работе системы синхронизации ИРНР-РЛК «Воронеж».

Общее время наблюдений в активном режиме, включая работы по проекту «Горизонт» (в сутках), — 82, остальное время наблюдения велось в пассивном режиме. Все периоды работы радара приведены в табл. 3.9.2.1.

Таблица 3.9.2.1. Эксперименты, проведенные на УНУ ИРНР в период 01.2021–12.2021

Период	Кол-во суток	Эксперимент
с 1 января	—	запуск пассивных наблюдений с возможностью сопровождения звездных радиоисточников
26–28 января	3	наблюдения НР, КО, «Горизонт-ИСЗФ», тесты с калибратором
3–4 февраля	2	наблюдения НР, КО, «Горизонт-ИСЗФ», тесты с калибратором
16–19 февраля	4	наблюдения НР, КО, «Горизонт-ИСЗФ»
2–5 марта	4	наблюдения НР, КО, «Горизонт-ИСЗФ», тесты с калибратором
16–18 марта	3	наблюдения НР, КО, «Горизонт-ИСЗФ»
30 марта – 1 апреля	3	наблюдения НР, КО, «Горизонт-ИСЗФ»
13–15 апреля	3	наблюдения НР, КО, «Горизонт-ИСЗФ»
27–29 апреля	3	наблюдения НР, КО, «Горизонт-ИСЗФ»
24 мая – 11 июня	19	наблюдения НР, КО, «Горизонт-ИСЗФ», зондирование Луны
18–25 июня	8	наблюдения НР, КО, «Горизонт-ИСЗФ», зондирование Солнца, дополнительный DDC4
5–9 июля	5	наблюдения НР, КО, «Горизонт-ИСЗФ», зондирование Луны
12–16 июля	5	наблюдения НР, КО, «Горизонт-ИСЗФ»
19–27 июля	9	наблюдения НР, КО, «Горизонт-ИСЗФ»
1–3 ноября	3	наблюдения НР, КО
11–13 ноября	3	наблюдения НР, КО
ноябрь–декабрь	5 (план)	плановые наблюдения НР, КО
остальное время до декабря 2021 г.	—	пассивные наблюдения с сопровождением звездных радиоисточников

ИРНР в каталоге уникальных научных установок: <http://ckp-rf.ru/usu/77733/>.

3.9.3. Большой солнечный вакуумный телескоп (рег. номер 01-29)



Большой солнечный вакуумный телескоп (БСВТ) находится на территории Байкальской астрофизической обсерватории, расположенной в 70 км от г. Иркутска в п. Листвянка.

Основные научные задачи БСВТ:

- спектральные, спектрополяриметрические и фильтровые наблюдения нестационарных процессов в солнечной атмосфере с целью исследования механизмов их возникновения;

- наблюдение за солнечными образованиями с использованием адаптивной системы коррекции

изображений и разработка эффективных способов коррекции;

- наблюдение за деформациями волнового фронта по солнечным образованиям с использованием адаптивной системы коррекции изображений;

- астроклиматические исследования и наблюдения за структурой оптической турбулентности по лучу зрения и в приземном слое атмосферы.

В 2021 г. проводились работы по модернизации аппаратуры БСВТ, разработке и совершенствованию методов наблюдений. График работ приведен в табл. 3.9.3.1. Общее время наблюдений составило 67 сут.

Таблица 3.9.3.1. Эксперименты, проведенные на УНУ БСВТ в период 01.2020–12.2020

Период	Кол-во суток	Эксперимент
11.05; 02–03.06; 09.06; 25.06; 06.07–07.06; 21–22.07; 27.07; 05.08; 31.08; 09.09; 16.09; 28.10	15	Настройка элементов адаптивной оптики для коррекции низкочастотных аберраций и измерения искажений волнового фронта датчиком Шака — Гартмана
09.09	1	Выполнение синхронных измерений: • вертикальные профили оптической турбулентности по данным измерений искажений волновых фронтов на БСВТ; • вертикальные профили атмосферных характеристик по данным лидарных измерений (Институт оптики атмосферы (г. Томск)).
21–22.07	2	Спектральные наблюдения эмиссионных образований в оптическом диапазоне
15.11	1	Настройка ультразвукового анемометра, размещенного вблизи питающего зеркала БСВТ
01.01–01.02; 15–30.11	48	Измерения средних и турбулентных характеристик флуктуаций скорости ветра, температуры и показателя преломления воздуха

БСВТ в каталоге уникальных научных установок: <https://ckp-rf.ru/usu/200615/>.

4. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

4.1. Общие сведения

В течение 2021 г. Институт выполнял научно-исследовательские работы по основным научным направлениям деятельности: современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, включая физику Солнца, межпланетной среды, околоземного космического пространства, ионосферы и атмосферы; изучение солнечно-земных связей; развитие методов и аппаратуры исследований в области астрофизики и геофизики в соответствии с планом госзаданий на 2021 г. и согласно приоритетным направлениям Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период 2021–2030 гг. (ПФНИ), утвержденной распоряжением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3684-р:

1. Проекты государственного задания на 2021 г.:

1.1. Направление ПФНИ 1.3.6 «Радиофизика и электроника, акустика»

1.1.1. Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн (рег. номер 121040600088-8, руководитель проекта — член-корр. А.В. Медведев).

1.1.2. Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля—ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов (рег. номер 121040600087-1, руководитель проекта — д.ф.-м.н. В.И. Куркин).

1.2. Направление ПФНИ 1.5.9 «Науки об атмосфере, климатология»:

1.2.1. Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий (рег. номер 121040600085-7, руководитель проекта — акад. Г.А. Жеребцов).

1.2.2. Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике (рег. номер 121040600078-8, руководитель проекта — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев).

1.3. Направление ПФНИ 1.3.7 «Астрономия и исследования космического пространства»:

1.3.1. Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе Солнце—Земля — магнитосфера — ионосфера (рег. номер 121040600077-2, руководитель проекта — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин).

1.3.2. Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце—Земля (рег. номер 121040500119-0, руководитель проекта — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич).

1.3.3. Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства (рег. номер 121040500118-3, руководитель проекта — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич).

1.3.4. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности (рег. номер 121040500117-6, руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов).

1.3.5. Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца (рег. номер 121040500116-9, руководители проекта — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов, д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов).

1.3.6. Методы и инструменты астрофизического эксперимента (рег. номер 121040500115-2, руководители проекта — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой).

1.4. Направление ПФНИ 1.3.3 «Ядерная физика и физика элементарных частиц»:

1.4.1. Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей (рег. номер 121040500114-5, руководитель проекта — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов).

2. Работы по грантам Президента Российской Федерации:

2.1. Грант Президента РФ № 075-15-2021-392 «Развитие метода определения характеристик атмосферной турбулентности на разных высотах», руководитель проекта — к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев.

3. Работы по грантам Российского научного фонда:

3.1. № 17-77-20005 «Создание системы сбора, обработки и машинного анализа больших объемов данных глобальных навигационных спутниковых систем для задач исследования околоземного космического пространства», руководитель проекта — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич.

3.2. № 19-77-00009 «Диагностика и анализ динамики атмосферы во время внезапных стратосферных потеплений над Восточной Сибирью», руководитель — к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева.

3.3. № 19-79-00061 «Разработка научных основ и методов оптического мультиспечения для средств адаптивной оптики крупных звездных и солнечных телескопов», руководитель — к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев.

3.4. № 20-77-00070 «Пространственные и спектральные характеристики ионосферных возмущений, связанных с развитием неустойчивостей в зимнем стратосферном циркулярном вихре», руководитель — к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич.

3.5. № 21-72-00039 «Исследование наблюдательных свидетельств разных механизмов возбуждения ударных волн в солнечной короне», руководитель — к.ф.-м.н. В.И. Киселев.

3.6. № 21-72-00022 «Химически пекулярные звезды на ранних этапах эволюции: Ар/Вр феномен в областях звездообразования», руководитель — к.ф.-м.н. И.С. Потравнов.

3.7. № 21-72-10139 «МГД-волны как средство изучения природы явлений в системе Солнце—Земля», руководитель — к.ф.-м.н. М.А. Челпанов.

3.8. № 21-12-00195 «Сейсмология вспышечных областей на Солнце», руководитель — к.ф.-м.н. В.М. Накаряков.

4. Выполнялись 18 грантов РФФИ: 3 — по физике Солнца и 15 — по физике околоземного космического пространства. Среди грантов — 4 молодежных и 5 — по соглашению РФФИ с зарубежными научными организациями:

4.1. РФФИ № 17-29-05047_офи_м 2017 «Мониторинг и исследование характеристик атмосферного аэрозоля в Байкальском регионе в периоды пирогенных событий по данным наземных и спутниковых измерений», руководитель проекта — к.ф.-м.н. М.А. Тащилин.

4.2. РФФИ № 18-55-52006_МНТ_а_2018 «Эмпирическое, гибридное и численное моделирование ионосферы с целью прогноза и исследования космической погоды с использованием инновационных наблюдений», руководитель проекта — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский.

4.3. РФФИ № 19-05-00889_а «Исследование перемещающихся ионосферных возмущений по данным когерентных дециметровых радаров и приемников GPS/ГЛОНАСС», руководитель проекта — к.ф.-м.н. А.В. Ойнац.

4.4. РФФИ № 19-05-00574_а «Исследование информационных и энергетических аспектов амплитудно-частотной модуляции УНЧ-колебаний в системе солнечно-земных связей», руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.С. Потапов.

4.5. РФФИ № 19-05-00665_а «Моделирование глобальной динамики ионосферы и термосферной эмиссии во время магнитной бури 17 марта 2015 г.», руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.В. Тащилин.

4.6. РФФИ № 19-02-00513_а «Диагностика КВ-радиоканала методом возвратно-наклонного зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом», руководитель проекта — д.ф.-м.н. В.И. Куркин.

4.7. РФФИ № 19-35-90046_Аспиранты_2019 «Диагностика авроральных овалов в двух полушариях Земли на основе техники инверсии магнитограмм», руководитель — д.ф.-м.н. В.В. Мишин.

4.8. РФФИ № 19-35-90093_Аспиранты_2019 «Исследование вариаций параметров верхней атмосферы, обусловленных распространением акустико-гравитационных волн,

индуцированных различными источниками», руководитель — к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий.

4.9. РФФИ № 19-52-45002_ИНД_а «Многokратные обращения полярных магнитных полей Солнца и их физические причины», руководитель — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов.

4.10. РФФИ № 20-20-32-70076_а_Стабильность «Каналы передачи энергии колебаний в солнечных факелах и корональных дырах», руководитель — к.ф.-м.н. А.А. Челпанов.

4.11. РФФИ № 20-45-383010_р_мол_а «Разработка модели ошибки позиционирования для повышения стабильности навигационного обеспечения в Прибайкальском регионе», руководитель — к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич.

4.12. РФФИ № 20-55-53009_ГФЕН_а_2020 «Взаимодействие между УНЧ-волнами и частицами в магнитосфере: экспериментальный и теоретический аспекты», руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин.

4.13. РФФИ № 20-05-000580_а «Разработка модели возмущений ионосферы при воздействии на нее жидкостных реактивных двигателей на основе экспериментальных данных, полученных в активных космических экспериментах «Плазма—Прогресс» и «Радар—Прогресс», руководитель — к.ф.-м.н. В.В. Хахинов.

4.14. РФФИ № 20-05-00212_а «Исследование регулярных вариаций и отклика на экстремальные события в верхней атмосфере Земли по данным спектрометрических и радиофизических наблюдений», руководитель — к.ф.-м.н. И.В. Медведева.

4.15. РФФИ № 20-15-50241 «Взаимодействие долгопериодических УНЧ-волн и заряженных частиц в магнитосфере: теория и наблюдения (обзор)», руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин.

4.16. РФФИ № 20-15-50079 «Космическая погода: факторы риска для глобальных навигационных спутниковых систем», руководитель — д.ф.-м.н. В.В. Демьянов.

4.17. РФФИ № 21-52-10012_КО_а_2021 «Исследование процессов ускорения электронов в микроволновых источниках событий в метровом радиодиапазоне», руководитель — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

4.18. РФФИ № 21-55-15012_НЦНИ_а_2021 «Исследования взаимодействия ионосферы и атмосферы с помощью сопряженных радаров и моделирования», руководитель — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт.

5. Выполнялись следующие работы:

5.1. По четырем госконтрактам в рамках создания Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук.

5.2. Прикладные по 19 темам в рамках хозяйственных договоров и контрактов.

4.2. Деятельность Ученого совета

Состав Ученого совета Института в количестве 31 чел. был утвержден на Конференции научных работников.

В 2021 г. было проведено 5 заседаний Ученого совета, где заслушивались научные сообщения, рассматривались отчеты и планы научно-исследовательских работ, а также проведения и участия в научных мероприятиях, утверждались темы диссертационных работ, научные руководители, отчеты по работе аспирантуры и др.

4.3. Деятельность диссертационного совета

Диссертационный совет Д.003.034.01 создан при ИСЗФ СО РАН приказом Рособнадзора Министерства образования и науки РФ от 02.11.2007 г. № 2249-1351, и срок его полномочий продлен приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 03.06.2021 г. № 561нк до 16.10.2022 г.

Диссертационному совету Д.003.034.01 разрешено принимать к защите диссертации по специальностям:

01.03.03 — физика Солнца, по физико-математическим наукам;

01.04.03 — радиофизика, по физико-математическим наукам;
25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы, по физико-математическим наукам.
В 2021 г. проведено 2 заседания совета. Защиты диссертаций не проводились.

4.4. Международное сотрудничество

В связи со сложившейся эпидемиологической ситуацией по коронавирусной инфекции в отчетном году состоялось 3 выезда сотрудников ИСЗФ СО РАН в США, Францию и Японию. Сотрудники института приняли участие в 15 зарубежных научных мероприятиях (см. список зарубежных международных мероприятий) в формате онлайн- видеоконференций.

Международные проекты

Научный проект PWING (“Study of dynamical variation of Particles and Waves in the Inner magnetosphere using Ground-based network observations” — «Исследование динамических вариаций поведения частиц и волн во внутренней магнитосфере с использованием наблюдений сети наземных станций») при поддержке Японского общества продвижения науки. Основной координатор — Кадзуо Шиокава, Институт исследований околоземного космического пространства, Университет г. Нагоя (Фуру-тё, Чикуса-ку, Нагоя, Аичи 464-8601, Япония). Сроки: 2016–2021 гг.

Инициативный научный проект РФФИ — Министерство науки, технологии и окружающей среды Республики Куба № 18-52-34004 «Разработка проекта реконструкции Гаванской радиоастрономической станции для мониторинга солнечной активности и фундаментальных исследований Солнца». Координаторы — В.М. Богод, САО РАН, п. Нижний Архыз, Карачаево-Черкесская Республика; Омар Понс Родригез, Институт геофизики и астрономии Кубы (Кайе 212 № 2906, Репарто Ла Коронела, Ла Лиса, Гавана, Куба). Сроки: 2019–2021 гг.

Инициативный научный проект РФФИ — Министерство по науке и технологиям Тайваня, конкурс «МНТ_а» 2018, № проекта 18-55-52006 «Эмпирическое, гибридное и численное моделирование ионосферы с целью прогноза и исследования космической погоды с использованием инновационных наблюдений». Координаторы — К.Г. Ратовский, ИСЗФ СО РАН; Лорэн Чээвэй Чан, проф. Национальный центральный университет Тайваня (300 Джунгда Роуд, Джунгли, г. Таоюань, 32001, Тайвань). Сроки: 2018–2021 гг.

Инициативный научный проект РФФИ № 19-52-45002 Инд_а «Многokратные обращения полярных магнитных полей Солнца и их физические причины». Координаторы — А.В. Мордвинов, ИСЗФ СО РАН; Бидья Бинэй Карак (Индийский технологический институт, Уттар-Прадеш, 221005, Варанаси, Индия). Сроки: 2019–2021 гг.

Инициативный научный РФФИ — Государственный фонд естественных наук Китая (ГФЕН) № 20-55-53009 «Взаимодействие между УНЧ-волнами и частицами в магнитосфере: экспериментальный и теоретический аспекты». Координаторы — Д.Ю. Климушкин, ИСЗФ СО РАН; Цюган Цзун, проф., Пекинский университет (5 Ихэюань Роуд, Хайдянь, Пекин, 100871, Китай). Сроки: 2020–2021 гг.

Инициативный научный проект РФФИ — Лондонское королевское общество №21-52-10012 «Изучение процессов ускорения электронов в микроволновых источниках событий в метровом радиодиапазоне». Координаторы — руководитель научного направления по радиофизике д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев, ИСЗФ СО РАН; Хэмиш Рид, Университетский колледж Лондона (Гауэр-стрит, Лондон, WC1E 6BT). Сроки: 2021–2022 гг.

RFI grant №2020VMA0032 «Свойства локальных колебаний в атмосфере солнечных пятен». Координаторы — к.ф.-м.н. Р.А. Сыч, ИСЗФ СО РАН; Су Цзянтао, Национальные астрономические обсерватории КАН (20А, улица Датун, район Чаоян, Пекин, 100012, Китай). Сроки: 2020–2021 гг.

В июне 2021 г. ИСЗФ СО РАН провел уникальные измерения по бистатической радиолокации Солнца на частоте 160 МГц совместно с Индийским национальным центром радиоастрофизики Института фундаментальных исследований (National Centre for Radio

Astrophysics (NCRA)).

Участие магнитной обсерватории «Иркутск» ИСЗФ СО РАН в работе Международной сети магнитных обсерваторий INTERMAGNET. Координаторы — А.С. Потапов, ИСЗФ СО РАН; председатель рабочего комитета INTERMAGNET, руководитель Национальной магнитной обсерватории Бельгии Жан Рассон (Королевский метеорологический институт Бельгии, 2 ул. Фаньоль, Дурб, В-5670, Вируанваль, Бельгия). Сроки: 1996–2024 гг.

Объединенный Российско-Китайский научный центр по космической погоде

Объединенный Российско-Китайский научный центр по космической погоде (ОНЦ-КП) был создан в 2000 г. Институтом солнечно-земной физики СО РАН и Центром космической науки и прикладных исследований КАН (с 2010 г. — Национальный центр космических исследований КАН (НЦКИ КАН)).

В рамках работы Центра в 2021 г. проводились совместные научно-исследовательские работы:

- по проекту №20-55-53009 ГФЕН_а;
- по RIFI гранту №2020VMA0032;
- в рамках Программы российско-китайского сотрудничества в области космоса на 2018–2022 гг. по теме «Наблюдение и исследование малоразмерного космического мусора на околополярных орбитах с использованием информации системы EISCAT и радара некогерентного рассеяния Обсерватории радиофизической диагностики атмосферы ИСЗФ СО РАН» совместно с Китайским научно-исследовательским институтом распространения радиоволн (CRIRP);
- первые совместные исследования на Сибирском радиогелиографе и спектральном радиогелиографе Минганту;
- исследования свечения верхней атмосферы Земли совместно с коллегами из Национального центра космических исследований КАН.

В г. Пекине 29 октября 2021 г. прошло заседание по выбору членов Китайской академии наук, на котором научный руководитель Института академик Г.А. Жеребцов был избран иностранным членом Китайской академии наук.

Участие сотрудников ИСЗФ СО РАН в работе Международных организаций

Сотрудники ИСЗФ СО РАН участвовали в работе следующих международных организаций:

1. Американский геофизический союз (American Geophysical Union, AGU) — 1 чел.
2. Сообщество европейских солнечных радиоастрономов (Community of European Solar Radio Astronomers, CESRA) — 3 чел.
3. Международная общественная организация «Астрономическое общество» (Eurasian Astronomical Society, EAAS) — 8 чел.
4. Европейское астрономическое сообщество (European Astronomical Society, EAS) — 7 чел.
5. Международный астрономический союз (International Astronomical Union, IAU) — 10 чел.
6. Международный проект «Международная справочная модель ионосферы» (International Reference Ionosphere (IRI) Project) — 1 чел.
7. Международная инициатива по космической погоде (International Space Weather Initiative, ISWI) — 2 чел.
8. Международная общественная организация «Оптическое общество им. Д.С. Рождественского» (Optical Society named after D.S. Rozhdestvensky) — 1 чел.
9. Международный комитет по солнечно-земной физике (Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics, SCOSTEP) — 2 чел.
10. Комитет по космическим исследованиям (Committee on Space Research, COSPAR) — 4 чел.
11. Сеть по определению изменений в мезопаузе (Network for the Detection of Mesopause Change, NDMC) — 1 чел.
12. Азиатско-Тихоокеанское геофизическое общество (Asia Oceania Geosciences So-

ciety, AOGS) — 1 чел.

13. Международный союз радионаук (Union Radio-Scientifique Internationale, URSI) — 1 чел.

14. Ассоциация выпускников программы Марии Кюри (Marie Curie Alumni Association, MCAA) — 1 чел.

4.5. Издательская деятельность

С 2015 г. Институт издает журнал «Солнечно-земная физика» как продолжение сборника научных трудов, издаваемого с 1963 г.

Учредителями журнала являются Институт солнечно-земной физики СО РАН и Сибирское отделение РАН. Главный редактор — академик РАН Г.А. Жеребцов, заместители — чл.-корр. РАН А.В. Степанов (ГАО РАН) и д.ф.-м.н. А.С. Потапов.

В состав редакционной коллегии в 2021 г. входили 10 сотрудников Института, 12 представителей других институтов и 3 представителя зарубежных организаций. Каждую из двух научных специальностей журнала (01.00.00 — физико-математические науки и 25.00.00 — науки о Земле) в составе редколлегии представляют не менее 10 докторов наук.

В 2021 г. состоялось четыре заседания редколлегии, на которых обсуждалось содержание каждого из выпусков журнала. Члены коллегии обменивались мнениями по различным спорным вопросам, касающимся поступивших в редакцию рукописей, намечали планы выпуска следующих номеров.

Журнал включен в международные базы и системы научного цитирования WoS (ESCI), Scopus, NASA Astrophysics Data System (ADS), Directory of Open Access Journals (DOAJ), CrossRef и отечественную базу РИНЦ. Двухлетний импакт-фактор РИНЦ с учетом цитирования переводной версии составляет 1,44.

Журнал издается в русско- и англоязычной версиях. В 2021 г. изданы по 4 номера тома № 7 в обеих версиях, в которых опубликовано 38 научных статей по следующим аспектам солнечно-земных связей:

- физика геоэффективных явлений на Солнце;
- процессы в солнечном ветре;
- взаимодействие солнечного ветра с магнитосферой;
- геомагнитные возмущения и волны;
- процессы в верхней атмосфере и ионосфере;
- космическая погода, ее мониторинг и прогноз;
- солнечно-климатические связи.

В 2021 г. Институт опубликовал «Отчет о научной и научно-организационной деятельности в 2020 г.».

4.6. Работа библиотеки

Работа библиотеки во второй половине 2021 г. была осложнена карантинными мероприятиями, связанными с пандемией новой коронавирусной инфекции и временными переводами сотрудников на дистанционную форму работы. Число физических посещений библиотеки значительно сократилось. Но работа велась весь год по всем обязательным направлениям.

За прошедший год была добавлена 171 новая запись в электронный каталог «Публикации сотрудников Института» и общее количество отраженных в каталоге публикаций достигло 18 635 единиц. В БД «Электронные книги» прибавилось 21 новое наименование книг по тематике исследований Института.

По запросам сотрудников скачана 101 статья, оцифрована 1 объемная книга (285 стр.) по заявке сотрудника Института и 30 статей из журналов.

Выполнено 14 заказов по МБА из удаленных источников (библиотеки других городов) для сотрудников ИСЗФ СО РАН и других институтов. Плановая работа по переводу в

электронный вид статей из журнала «Геомагнетизм и аэрономия» продолжалась по мере поступления журналов. Было отсканировано 30 статей.

Содержание вновь поступающих выпусков журналов «Геомагнетизм и аэрономия», «Астрономический журнал», «Письма в «Астрономический журнал» своевременно вводится в раздел «Отечественные журналы» электронного каталога библиотеки. Наполняемость электронной библиотеки Института достигла 88.7 Гб.

Уже несколько лет библиотечный фонд пополняется только книгами, полученными в дар от сотрудников. Отечественные журналы поступали в течение года по подписке. Информация обо всех новых поступлениях ежеквартально размещалась в Едином электронном каталоге UNIT на базе библиотеки ИНЦ СО РАН.

Подписка на зарубежные издательства Elsevier, Springer, IOP, Wiley осуществлялась на основе заключенных лицензионных договоров с ГПНТБ России и Минобрнауки. Работники Института без задержки получают полные тексты статей иностранных журналов данных издательств в электронном виде. Заключались также договора на тестовые доступы к ресурсам различных зарубежных издательств, что давало возможность нашим сотрудникам быть в курсе научных новинок по различным отраслям знаний.

Благодаря бесперебойной работе интернет-версии ИРБИС пользователи электронной библиотеки активно пользуются электронными каталогами библиотеки ИСЗФ СО РАН и объединенным каталогом библиотек ИНЦ СО РАН, а также могут заказывать литературу онлайн, что при дистанционной форме работы в период пандемии стало наиболее актуальным.

В читальном зале библиотеки согласно расписанию проходят занятия с аспирантами и магистрантами.

Было организовано 6 тематических выставок:

- «Салют науке!» — к Дню науки;
- «Её величество женщина!» — к Дню 8 Марта;
- «Мы первые» — к Дню космонавтики (к 60-летию полета в космос Ю.А. Гагарина);
- «В книжной памяти мгновения войны» — к Дню Победы;
- «Памяти ученого» — памяти Г.Я. Смолькова;
- «Книги-юбилеры 2021 года» — мини-выставка.

Выставки новых поступлений периодики обновляются 1-2 раза в месяц.

Выполнено 9 объемных справок по запросам руководства Института с использованием ресурсов зарубежных баз данных WOS, SCOPUS и отечественной БД РИНЦ.

4.7. Образовательная деятельность

Подготовка научных и научно-педагогических кадров в настоящее время является одной из приоритетных задач Института. Подготовка аспирантов ведется по трем направлениям: физика Солнца, радиофизика и физика атмосферы и гидросферы.

В 2021 г. Министерством науки и высшего образования РФ для приема в аспирантуру было выделено 10 бюджетных мест. Приемная компания проходила в условиях ограничительных мер из-за коронавирусной инфекции, но, несмотря на это, по двум из трех реализуемых направлений подготовки образовался конкурс 2 человека на место.

По состоянию на 31.12.2021 численность аспирантов по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров составляет 28 человек (табл. 4.7.1.): по профилю «Радиофизика» — 16 чел., «Физика Солнца» — 6 чел., «Физика атмосферы и гидросферы» — 7 чел.

Дипломы об окончании аспирантуры в 2021 г. получили 4 выпускника, из них 3 — по профилю «Радиофизика» и 1 — по профилю «Физика атмосферы и гидросферы».

Основными особенностями подготовки аспирантов в ИСЗФ СО РАН являются индивидуальный подход и большое желание передать знания и опыт поколений своим подопечным. Научными руководителями аспирантов являются ведущие ученые Института, доктора и кандидаты физико-математических наук (табл. 4.7.1).

Таблица 4.7.1

№	ФИО аспиранта	Научный руководитель	Тема научно-исследовательской работы (диссертаций)
1	Цедрик М.В.	зав. отделом д.ф.-м.н. Куркин В.И.	Исследование амплитудно-фазовых характеристик частотно-модулированных сигналов, прошедших ионосферный радиоканал
2	Черемисин В.В.	н.с. к.ф.-м.н. Воейков С.В.	Определение параметров ионосферных возмущений методами ГНСС-радиозондирования
3	Калашников Ю.В.	зав. лаб. к.ф.-м.н. Васильев Р.В.	Использование параметров грозовой активности для исследования космической погоды
4	Добрынин В. А.	с.н.с. к.ф.-м.н. Сорокин А.Г.	Исследование региональных источников инфразвукового излучения сейсмического происхождения
5	Торопова М.С.	с.н.с. к.ф.-м.н. Кашапова Л.К.	Механизмы излучения слабых солнечных вспышек по данным микроволнового и рентгеновского диапазонов
6	Холодова Л. А.	зав. лаб. к.ф.-м.н. Васильев Р.В.	Влияние геофизических событий на распространение электромагнитных волн от молниевых разрядов
7	Ковалев И.И.	в.н.с. к.ф.-м.н. Сдобнов В.Е.	Расширение метода спектрографической глобальной съемки для исследования температурного разреза атмосферы по вариациям космических лучей
8	Софьин А.В.	зав. отделом д.ф.-м.н. Куркин В.И.	Перемещающиеся ионосферные возмущения в среднеширотной ионосфере Азиатского региона России
9	Серебренникова С.А.	в.н.с. к.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В.	Оценка границ локализации возмущений высокоширотной и низкоширотной ионосферы по данным глобальных навигационных спутниковых систем
10	Чудаев С. О.	д.ф.-м.н. Афанасьев Н.Т.	Диагностика плазменных неоднородностей по данным системного радиозондирования ионосферы в декаметровом диапазоне
11	Рыбкина А. А.	зав. отделом д.ф.-м.н. Куркин В.И.	Морфологический анализ перемещающихся ионосферных возмущений по данным многофункционального ЛЧМ-ионозонда «Ионозонд-МС»
12	Яковлева И.П.	н.с. к.ф.-м.н. Тащилин М.А.	Пространственно-временные вариации аэрозольной оптической толщи в Байкальском регионе по данным наземных и спутниковых измерений
13	Логвинов Д.В.	зам. директора по научной работе д.ф.-м.н. Демидов М.Л.	Прогноз параметров солнечного ветра по наблюдениям крупномасштабных магнитных полей Солнца

14	Рубцов А.В.	зав. лаб. к.ф.-м.н. Климушкин Д.Ю.	Компрессионные ультра- низкочастотные волны в магнитосфере: теория и эксперимент
15	Малецкий Б.М.	в.н.с. к.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В.	Построение эмпирической модели ионосферных возмущений по данным GPS/ГЛОНАСС/Galileo/BeiDou
16	Молчанова Н.О.	зав. лаб. к.ф.-м.н. Васильев Р.В.	Радиофизические эффекты высотных молниевых разрядов
17	Петров А.Д.	с.н.с. к.ф.-м.н. Лебедев В.П.	Использование нейронных сетей в задаче анализа ионограмм
18	Тютрин Д.А.	зам. директора по научной работе к.ф.-м.н. Лесовой С.В.	Разработка радиометра на длину волны 10.7 см для мониторинга геоэффективных солнечных явлений
19	Вяткин А.Н.	н.с. к.ф.-м.н. Зоркальцева О. С.	Исследование эффектов крупномасштабных тропосферных процессов в верхней атмосфере
20	Обытоцкий Г.В.	н.с. к.ф.-м.н. Тащилин М.А.	Исследование вариаций аэрозольной оптической толщи на территории Восточной Сибири по данным спутниковых измерений
21	Власов А. А.	в.н.с. д.ф.-м.н. Леонович А. С.	Исследование пространственной структуры монохроматических альфвеновских волн в магнитосфере Земли
22	Шамсутдинова Ю.Н.	с.н.с. к.ф.-м.н. Кашапова Л.К.	Процессы энергосвободы в микроволновых источниках событий в метровом радиодиапазоне
23	Киричков П.Н.	г.н.с. д.ф.-м.н. Демидов М.Л.	Анализ магнитной активности Солнца на основе синоптических наблюдений
24	Трофимов Е. А.	директор чл.-к. РАН Медведев А.В.	Экспериментальное исследование волновой активности в верхней атмосфере
25	Федоров М.Э.	д.т.н. Демьянов В.В.	«Алгоритм оценки шумов генераторов навигационных приемников для повышения точности измерения фазы двухчастотными навигационными приемниками»
26	Ермаков В.Ю.	с.н.с. к.ф.-м.н. Лебедев В.П.	Исследование поляризационной структуры радиолокационных сигналов Иркутского радара некогерентного рассеяния и всеатмосферного радара НР МСТ
27	Байбордин А.Д.	с.н.с. к.ф.-м.н. Сорокин А.Г.	Инфразвуковые волны как средство сейсмоакустического зондирования нижней (средней) и верхней атмосферы
28	Марчук Р.А.	в.н.с. д.ф.-м.н. Мишин В.В.	Динамика УНЧ электромагнитных колебаний и токовых систем в ходе магнитосферных бурь и суббурь



Рис. 4.7.1. Аспиранты Института. Верхний ряд (слева направо): Черемисин В.В., Ковалев И.И., Цедрик М.В., Чудаев С.О., Калашников Ю.В., Софьин А.В., Рубцов А.В., Петрашук А.В., Саункин А.В. Нижний ряд (слева направо): Торопова М.С., Домбровская Н.С., Рыбкина А.А., Яковлева И.П., Молчанова Н.О., Серебренникова С.А.

Согласно учебным планам, в рамках подготовки научно-педагогических кадров с аспирантами проводятся занятия по таким дисциплинам, как «Внешние слои Солнца», «Приборы и методы исследования Солнца», «Физика плазмы», «Спутниковые системы навигации», «Радиофизические методы мониторинга неоднородных сред», «Физика магнитосферы», «Нейтральная атмосфера, ионосфера, плазмосфера».

В последние два года остро ощущается недостаток выпускников магистратуры по направлению подготовки «Физика». В связи с этим было принято решение о лицензировании и аккредитации образовательной программы подготовки в магистратуре по направлению 03.04.02 «Физика», направленность (профиль) — «Физика солнечно-земных связей».

В 2020–2021 гг. в Институте была проделана большая работа по подготовке комплекта документов для прохождения процедуры лицензирования и аккредитации образовательной программы магистратуры. Кроме того, введен в эксплуатацию новый учебный класс, получено право на медицинскую деятельность и открыт кабинет первой медицинской помощи, обустроены пандусы для маломобильных слоев населения.



Рис. 4.7.2. Учебная аудитория Л-224



Рис. 4.7.3. Медицинский кабинет

В период 3.02–9.04 2021 г. Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки проводилась аккредитационная экспертиза образовательной программы магистратуры Института. По окончании проверки Институту выдали свидетельство об аккредитации. Из 600 академических научных организаций, которые находятся в ведении Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, только шесть имеют лицензию на обучение магистрантов, в том числе ИСЗФ СО РАН.

В 2021 г. численность магистрантов первого-второго года обучения составила 8 чел. Темы научно-исследовательских работ магистрантов приведены в табл. 4.7.2.

Таблица 4.7.2

№	ФИО магистранта	Научный руководитель	Тема научно-исследовательской работы
1	Мотык И.Д.	с.н.с. к.ф.-м.н. Кашапова Л.К.	Пространственно-временная структура микроволновых источников в солнечных вспышках
2	Феденёв В.В.	с.н.с. к.ф.-м.н. Анфиногентов С. А.	Микроволновое изучение солнечных активных областей с аномально сильным магнитным полем
3	Воронова Е. А.	зав. лаб. к.ф.-м.н. Ра- товский К.Г.	Морфологический анализ характеристик спорадического слоя по данным Иркутского ионозонда вертикального зондирования ионосферы
4	Муратов И. А.	в.н.с. к.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В.	Космическая погода и ее воздействие на радиотехнические системы
5	Каракотов Р.Р.	зав. лаб. д.ф.-м.н. Кузнецов А. А.	Поиск и анализ звездных вспышек в радиодиапазоне по данным телескопа LOFAR
6	Смотрова Е.Е.	зав. лаб. к.ф.-м.н. Климушкин Д.Ю.	Использование цифровых фильтров для анализа волновых событий в магнитосфере
7	Ширшов Н.В.	с.н.с. к.ф.-м.н. Кашапова Л.К.	Расчет мультиспектральной системы Большого внеатомного коронографа ССО
8	Шелков А.Д.	зав. лаб. к.ф.-м.н. Колобов Д.Ю.	Способы и методы предварительной обработки спектральных изображений, полученных на оптическом солнечном телескопе

По окончании магистратуры выпускники будут иметь возможность продолжить свое обучение в аспирантуре. Таким образом, в 2021 г. был реализован непрерывный процесс подготовки обучающихся с преемственностью образовательного процесса магистратура — аспирантура.

За недолгое существование магистратуры в Институте магистрантка второго курса Смотрова Е.Е. в 2021 г. заняла третье место в направлении «Физика и астрономия» на Всероссийском конкурсе научно-исследовательских работ «Наука будущего». Финальная часть конкурса прошла в рамках программы Молодежного научного форума «Наука будущего — наука молодых».

В ноябре 2021 г. аспирант второго года обучения по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» Рубцов В.А. выиграл конкурс на получение именной стипендии губернатора Иркутской области.

4.8. Работа с вузами

Институт сотрудничает с ИрГУ (ФГБОУ ВПО Иркутский государственный университет), ИрНТУ (ФГБОУ ВПО Иркутский государственный технический университет), БГУ (Байкальский государственный университет), ИРГУПС (Иркутский государственный институт путей сообщения), Иркутским педагогическим университетом, Иркутским филиалом Института гражданской авиации, Поволжским государственным технологическим университетом, Московским физико-техническим институтом МГУ и др.

Совместные структуры с вузами Иркутска:

- Базовая кафедра радиоэлектроники и телекоммуникационных систем (ИСЗФ СО РАН и ФГБОУ ВПО Иркутский государственный технический университет, соглашение о сотрудничестве от 20 июля 2010 г., договор о сотрудничестве от 22 ноября 2011 г.);

- Совместная научно-исследовательская лаборатория «Плазменная радиофизика» (ИСЗФ СО РАН и ФГБОУ ВО Иркутский государственный технический университет, соглашение о сотрудничестве от 20 июля 2010 г., договор о сотрудничестве от 30 ноября 2011 г.);

- Базовая кафедра ИСЗФ СО РАН — кафедра общей и космической физики на физическом факультете ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет (протокол Ученого совета ФГБОУ ВПО ИГУ № 10 от 27.04.2012 г.).

- Базовая кафедра ИСЗФ СО РАН — кафедра метеорологии и физики околоземного космического пространства на географическом факультете ФГБОУ ВО Иркутского государственного университета (протокол Ученого совета ФГБОУ ВПО ИГУ № 3 от 15.04.2019 г.).

Активно используется инструментальная база Института. В обсерваториях Института ежегодно проходят практику студенты ИГУ, ИрГТУ, БурГУ, ведется популяризаторская деятельность. В 2021 г. были проведено более 657 экскурсий в обсерватории Института.

Ученые Института совмещают свою научную деятельность с преподавательской работой в вузах. Преподавательской деятельностью в 2021 г. занималось 36 сотрудников, а также 12 сотрудников проводили работу со школьниками.

В 2021 г. производственную практику в Институте прошли 16 студентов вузов, выполнили курсовые — 10, дипломные работы — 19.

4.9. Работа Научно-образовательного центра

Научно-образовательный центр (НОЦ) ИСЗФ СО РАН создан в 2008 г. Основной задачей НОЦ с целью привлечения в Институт молодых перспективных научных кадров является организация педагогической работы и деятельности, направленных на популяризацию науки. Организационная структура НОЦ включает заведующего, секретаря и науч-

ных сотрудников Института, привлекаемых к работе НОЦ. Научные сотрудники ведут учебные курсы, читают научные и научно-популярные лекции, руководят учебной и производственной практикой студентов, научно-исследовательской работой школьников, проводят экскурсии.

Сотрудники ИСЗФ принимали активное участие в работе разнообразных научно-образовательных мероприятий, проводимых в г. Иркутске, включая дни российской науки (февраль 2021 г.). Для школьников и жителей города в областной библиотеке им. Молчанова-Сибирского были проведены научно-популярные лекции (к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев). В рамках проекта «Новости науки» к.ф.-м.н. А. А. Челпанов прочитал лекцию «Солнце через объектив». Проводилась ежегодная всероссийская акция «Библионочь-2021» посвященная науке, технологиям и 60-летию первого полета человека в космос. В рамках этой программы для рубрики «Космос рядом» аспирант А.В. Рубцов прочитал лекцию «Первое открытие космической эры: радиационные пояса Земли».

С целью расширения сотрудничества НОЦ со школами города Иркутска для учащихся школы № 21 и школы № 49 были проведены выездные лекции «Взаимодействие Земли и Солнца. Солнечный ветер и магнитные бури» (М.А. Челпанов).

В рамках НОЦ 9 апреля 2021 г. при активной поддержке ИГУ и Министерства образования Иркутской области состоялась X научно-практическая конференция школьников «Человек и космос» в онлайн-формате. Научное руководство работами школьников осуществляли 17 сотрудников Института, 15 учителей физики были соруководителями и консультантами. Для школьников сотрудником Института С.А. Анфиногентовым была прочитана лекция «Солнце: физические процессы и методы исследования».

В рамках сотрудничества ИСЗФ с ИрГУПС для студентов 3 курса направления «Приборостроение» (профиль «Приборы и методы контроля качества и диагностики») была проведена производственная практика (с.н.с. С.А. Чупраков).

Неотъемлемой частью деятельности НОЦ является работа со студентами физического факультета ИГУ. Сотрудничество с кафедрой общей и космической физики и кафедрой радиофизики включает в себя чтение дополнительных спецкурсов, руководство курсовыми и дипломными работами. В 2021 г. ведущие ученые Института прочитали курсы лекций по физике Солнца, плазмы, ионосферы и магнитосферы. Были проведены также следующие мероприятия:

- Спец. курс «Физика ближнего космоса» (зав. лаб. Д.Ю. Климушкин);
- Курс лекций и практических занятий «Обработка сигналов и изображений» (с.н.с. А.А. Кочанов).
- Учебная ознакомительная практика для студентов 2 курса направления «Радиофизика» (с.н.с. А.А. Кочанов, с.н.с. В.П. Лебедев, с.н.с. А.Б. Белецкий, зав. лаб. К.Г. Ратовский).
- Практикум в рамках курса «Радиофизические исследования ионосферы» и «Экспериментальные методы в геофизике» для студентов 4 курса (зав. лаб. К.Г. Ратовский, зав. лаб. Р.В. Васильев, с.н.с. А.В. Ойнац, с.н.с. А.А. Кочанов, зам. дир. С.В. Лесовой, с.н.с. В.П. Лебедев, м.н.с. М.В. Глоба, м.н.с. Е.Ф. Иванов, Т.Н. Сыренова);
- Выездная лекция «Геофизическая обсерватория ИСЗФ СО РАН», п. Торы, для студентов 4 курса «Радиофизика» (зав. лаб. Р.В. Васильев).

4.10. Работа музея ИСЗФ СО РАН

Музей ИСЗФ СО РАН был создан в 2010 г. в год 50-летия Института.

Целью создания музея является сохранение исторических архивов, проведение научно-просветительской и учебно-образовательной деятельности.

На сегодняшний день экспозиция музея включает более 370 единиц хранения.

До конца 2021 г. музей планирует получить новый экспонат для своей экспозиции «ССРТ РАО Бадары». Это акустооптический приемник, проработавший на Сибирском

солнечном радиотелескопе (ССРТ) много лет и предназначенный для детального исследования радиоизображения Солнца.

Продолжается тестирование нового оборудования для музейных стендов, заказанного и изготовленного в цехе ИСЗФ СО РАН в 2020 г., при этом вносятся некоторые дополнения.

Совместно с Советом научной молодежи и профкомом Института музеев проводит работу по поиску новых экспонатов, созданию и реставрации альбомов, поиску фотоматериалов и созданию постеров о ветеранах, проработавших в Институте 50 и более лет. По традиции в День науки 8 февраля с соблюдением всех санитарных правил в выставочном зале музея была открыта выставка «СИБИЗМИР — это молодость наша. СИБИЗМИР — это наша судьба» с показом видео, поздравлениями юбиляров и вручением памятных подарков.

Традиционно совместно с профкомом и дирекцией Института музеев принимал участие в поздравлении наших ветеранов с праздником Победы. Подготовлены к вручению памятные медали «Дети войны» в честь 76-й годовщины Победы в Великой Отечественной войне. Вручение запланировано на 2022 г.

Раздел «Музей ИСЗФ СО РАН» на сайте Института пополнился новыми выставками: «Просто космос» (выставка фоторабот молодых ученых ИСЗФ СО РАН ко Дню космонавтики) и «Золотые юбиляры 2021». Совместно с Советом молодых ученых музеев принимал участие в организации лекции в библиотеке им. И.И. Молчанова-Сибирского 21.01.2021 (А. Челпанов).

Музей не прерывает связь с Сибирской ассоциацией интерпретации, которая работает в ИФИЯМ ИГУ. Мы принимаем онлайн-участие в семинарах и занятиях, в том числе международных, по теме «Интерпретация природного и культурного наследия».

В течение этого сложного для всех года в музее было проведено минимальное число экскурсий (8-9) с соблюдением санитарных правил: две обзорные для студентов ИГУ и несколько экскурсий для гостей Института и родственников бывших сотрудников ИСЗФ Кокоуровых, Оргильяновых, Смольковых. Записи о впечатлениях оставлены в книге отзывов посетителей.

Составлен текст новой экскурсии «Загадки и удивительные факты СИБИЗМИРА».

В течение года музей готовил исторические справки о подразделениях Института.

В 2021 г. О.А. Давыдова прошла обучение в Автономной некоммерческой организации «Агентство развития профессионального мастерства» (Ворлдскиллс Россия), получила Skills Passport (000-000-550-386) и удостоверение по специальности «Организация экскурсионных услуг».

Продолжается подготовка второго онлайн-альбома, посвященного юбилею Института, кроме того, изготовлен один стенд (150×70 см) и готовятся следующие, отражающие современное состояние науки в отделах и лабораториях Института.

4.11. Работа Совета научной молодежи Института

Новый состав в количестве 11 чел. Совета научной молодежи (председатель к.ф.-м.н. О.С. Михайлова) был избран на Общем собрании научной молодежи Института 10.12.2018 г.

В 2021 г. состоялось 6 заседаний, где обсуждались организация и проведение мероприятий, рассматривались кандидатуры для участия в конкурсах и грантах, проводились конкурсы на поддержку научных командировок молодых ученых ИСЗФ СО РАН.

Были рассмотрены и выдвинуты кандидатуры на соискание стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики.

Выдвинуты кандидаты для участия в конкурсе научно-исследовательских работ в рамках VI Всероссийского форума и IV Международной научной конференции «Наука».

Выдвинуты кандидаты для участия в конкурсе на премию Президента РФ в области науки и инноваций для молодых ученых коллектива молодых ученых — Д.В. Костарев и М.А. Челпанов — за существенный вклад в развитие теории дрейфово-компрессионных волн и первое экспериментальное подтверждение их существования в магнитосфере Земли.

Совет научной молодежи принимал участие в организации следующих мероприятий:

- Дни науки. В рамках дней науки СНМ была прочитана научно-популярная лекция «Солнце через объектив».

- В рамках года науки и технологий СНМ были проведены следующие мероприятия:

- Серия встреч для молодых ученых «Своя игра» с настольными играми; кроме того, молодые сотрудники Института вступили в ряды экспертов по астрономии на портале «Яндекс-Кью».

- Три научно-популярных лекции в государственной универсальной научной библиотеке им. И.И. Молчанова-Сибирского.

- Тематические уроки в СОШ № 21 и СОШ № 49 г. Иркутска.

- На постоянной основе СНМ проводит рассылку информации по электронной почте о новых конкурсах на получение грантов, стипендий и премий для молодых ученых. Регулярно рассылается информация о проводимых научных российских и международных конференциях и других мероприятиях, а также о спортивных мероприятиях. СНМ поддерживает информационный стенд с актуальной информацией для молодых сотрудников Института и сайт, где можно получить необходимую информацию.

- Участие в работе конференций в качестве членов оргкомитетов и в качестве руководителей работ школьников X межрегиональной конференции школьников «Человек и космос».

- Участие в качестве членов почетного жюри в работах конференций для школьников: V Региональный фестиваль «Планета Интеллект» и Областная онлайн-конференция научно-исследовательских и учебно-исследовательских проектов по техническому творчеству среди обучающихся образовательных организаций Иркутской области «Дети. Техника. Творчество».

- Ежегодный конкурс поддержки научных командировок молодых сотрудников ИСЗФ СО РАН. Целью конкурса является помощь молодежи в представлении своих работ на конференциях, взаимодействие молодых ученых с иногородними коллегами, налаживание научных связей, обучение молодежи поиску альтернативных (внебюджетных) источников финансирования своих исследований. В рамках конкурса в 2021 г. СНМ поддержал 5 командировок молодых сотрудников Института.

- Цикл молодежных семинаров на английском языке, направленных на обучение молодых сотрудников выступлению перед аудиторией и совершенствование практики английского языка.

- Ежегодное поощрение лучших аспирантов по итогам годовой аттестации. СНМ ежегодно проводит конкурс премий аспирантов, основная задача которого состоит в повышении качества работы аспирантов.

- Ежегодный молодежный новогодний вечер «Науку делаем вместе!» при совместной организационной, финансовой и информационной поддержке СНМ, профсоюзного комитета Института, Объединенного совета научной молодежи ИНЦ.

4.12. Проведение научных мероприятий

К Дню космонавтики 9 апреля 2021 г. в Институте прошла X Межрегиональная научная конференция школьников «Человек и космос». Для участников конференция проходила в онлайн-формате с использованием видеосвязи. Организатором выступил ИСЗФ СО РАН при участии Иркутского государственного университета и информационной поддержке Министерства образования Иркутской области. Конференция проводится ежегодно с целью развития у школьников интереса к астрономии и исследованиям космического пространства, формирования стремления заниматься исследовательской работой, озна-

комления учащихся и педагогов с новейшими результатами исследований в данных областях науки. К участию в конференции приглашались учащиеся средних школ Иркутской области, республики Бурятия и других регионов. В финальном устном этапе X Межрегиональной конференции школьников «Человек и космос» приняли участие 20 учащихся 6–11 классов из населенных пунктов Иркутск, Усть-Илимск, Михайловка (Черемховский р-н), Максимовщина (Иркутский р-н), Железногорск, Усолье-Сибирское, Шелехов. В подготовке и проведении конференции принимали участие 20 сотрудников Института. Была прочитана лекция «Солнце: физические процессы и методы исследования» (к.ф.-м.н. С. Анфиногентов). Участники конференции, занявшие призовые места были награждены книгами.

С 14 по 17 июня 2021 г. в формате онлайн-видеоконференции прошла Международная конференция и Школа молодых ученых «Климатические риски и космическая погода». Организаторами конференции были Иркутский государственный университет (географический факультет), Институт солнечно-земной физики СО РАН, Российский государственный гидрометеорологический университет, Монгольский национальный университет и НПЦ «Мэп Мейкер».

Тематика конференции включала в себя следующие научные секции:

1. Современные климатические и экологические риски;
2. Физика и динамика атмосферы. Процессы и взаимодействие верхней, средней и нижней атмосферы;
3. Проявление геоэффективных солнечных процессов в атмосфере и околоземном космическом пространстве;
4. Современные технологии исследования и прогнозирования атмосферы и климата;
5. Актуальные проблемы подготовки специалистов в области гидрометеорологии и физики атмосферы.

С 5 по 9 июля 2021 г. в смешанном офлайн- и онлайн-формате прошел XXVII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Организаторами были Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Институт динамики геосфер им. академика М.А. Садовского РАН и Институт солнечно-земной физики СО РАН. В рамках симпозиума работало шесть конференций:

А. Молекулярная спектроскопия и атмосферные радиационные процессы. Тематика конференции: молекулярная спектроскопия атмосферных газов; поглощение радиации в атмосфере и океане; радиационные процессы и проблемы климата; модели и базы данных для задач оптики и физики атмосферы.

В. Распространение излучения в атмосфере и океане. Тематика конференции: распространение волн в случайно-неоднородных средах; адаптивная оптика; нелинейные эффекты при распространении волн в атмосфере и водных средах; многократное рассеяние; оптическая связь; перенос и обработка изображений; оценка достоверности метрологических измерений; прикладные вопросы применения оптических систем и лазеров.

С. Исследование атмосферы и океана оптическими методами. Тематика конференции: оптические и микрофизические свойства атмосферного аэрозоля и взвесей в водных средах; элементный и ионный состав примесей в приземном слое атмосферы; перенос и трансформация аэрозольных и газовых компонент в атмосфере; лазерное и акустическое зондирование атмосферы и океана; оптико-электронные комплексы для задач оптики и физики атмосферы; мониторинг водных объектов по данным дистанционного зондирования; диагностика растительных биосистем и биологических объектов; активные съемочные системы для изучения атмосферы и океана.

Д. Физика тропосферы. Тематика конференции: атмосферная турбулентность; структура и динамика приземной атмосферы; динамика атмосферы и климат Азиатского региона; результаты мониторинга тропосферы по данным обработки измерений с помощью Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС); радиофизические и опти-

ческие методы диагностики атмосферы Земли и подстилающей поверхности; моделирование атмосферных явлений с использованием интерактивных картографических сервисов; прогноз изменений климата.

Е. Физика средней и верхней атмосферы. Тематика конференции: структура и динамика средней и верхней атмосферы; физические процессы и явления в термосфере и ионосфере Земли; климатологические исследования верхней атмосферы; физика и химия средней атмосферы и нижней ионосферы; изменения климата; взаимосвязь процессов в литосфере, атмосфере, ионосфере, магнитосфере и на Солнце; развитие методов мониторинга верхней атмосферы с использованием ГНСС; изменения глобального гравитационного поля Земли; использование ГНСС для развития эмпирических и физических моделей.

Ф. Цифровые платформы поддержки исследований атмосферы и океана. Тематика конференции: информационные и вычислительные технологии в задачах мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды; цифровые платформы; сервисы и облачные технологии; аппаратно-программные комплексы IoT для исследования окружающей среды; методы искусственного интеллекта и Big Data в задачах мониторинга и прогнозирования.

С 23 по 25 ноября 2021 г. в режиме онлайн-видеоконференции была проведена V Всероссийская астрономическая конференция «Небо и Земля». Организаторами конференции выступили Иркутский государственный университет, Международная общественная организация «Астрономическое общество», Министерство образования Иркутской области и Институт солнечно-земной физики СО РАН. Конференция, посвященная 90-летию Астрономической обсерватории ИГУ, включала следующие научные сессии:

1. Общие вопросы астрономии;
2. История астрономии;
3. Звезда по имени Солнце;
4. Влияние космогенных факторов на земные процессы;
5. Школьное и дополнительное астрономическое образование и популяризация астрономии.

С 24 по 26 ноября 2021 г. в режиме онлайн-видеоконференции прошла IV Всероссийская научно-практическая конференция «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России». Организатором был географический факультет Иркутского государственного университета при поддержке Иркутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Института солнечно-земной физики СО РАН. Конференция проводилась по следующим научным направлениям:

1. Погода и климат. Мониторинг и прогнозирование;
2. Мониторинг, моделирование и прогнозирование состояния водных объектов;
3. Опасные гидрометеорологические явления и процессы;
4. Региональные особенности атмосферных процессов;
5. Влияние климатических изменений на трансформацию природных и социально-экономических условий;
6. Современные информационные технологии в гидрометеорологии;
7. Современные методы и средства гидрометеорологических наблюдений;
8. Актуальные проблемы подготовки кадров в сфере гидрометеорологии;

В рамках конференции были проведены круглые столы по следующим темам:

1. Космическая погода: мониторинг и прогноз;
2. Проблемы изучения Арктики и Антарктики.

4.13. Участие в выставках

На постоянно действующей выставке разработок Сибирского отделения в Новосибирске демонстрируются планшеты Института:

- Сибирский радиогелиограф;
- Иркутский радар некогерентного рассеяния;

- Астрономический комплекс ИСЗФ СО РАН;
- Экспериментальный гелиогеофизический комплекс обсерваторий ИСЗФ СО РАН.

На портале Объединенного ученого совета по физическим наукам СО РАН размещены материалы по разработкам Института:

- Автоматическая обработка и интерпретация ионограмм наклонного зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом;
- Ионозонд вертикального и наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом «Ионозонд-МС»;
- Диагностический комплекс на базе многофункционального ионозонда с использованием сигналов с линейной модуляцией частоты.

4.14. Участие в научных мероприятиях

В 2021 г. сотрудники Института участвовали в следующих научных мероприятиях — российских, международных, в том числе зарубежных.

4.14.1. Российские:

1. Конференция «Идеи С.Б. Пикельнера и С.А. Каплана и современная астрофизика», 8–12 февраля 2021, Россия, г. Москва, онлайн;
2. XVI ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе», 8–12 февраля 2021 г., Россия, г. Москва, онлайн;
3. 44-й ежегодный семинар «Физика авроральных явлений», 15–19 марта 2021 г., Россия, г. Апатиты, онлайн;
4. Отраслевая научно-практическая конференция «Космонавтика XXI века», 14 мая 2021 г., Россия, Московская область;
5. XXVII Всероссийская открытая научная конференция «Распространение радиоволн», 28 июня – 3 июля 2021 г., Россия, г. Калининград;
6. Всероссийская астрономическая конференция 2021 г. «Астрономия в эпоху многоканальных исследований» (с международным участием), 23–28 августа 2021 г., Россия, г. Москва, онлайн;
7. Всероссийская астрономическая конференция ВАК-2021, 23–28 августа 2021 г., Россия, г. Москва, онлайн;
8. Всероссийская астрономическая конференция с международным участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021», 31 августа – 3 сентября 2021 г., КрАО, пгт. Научный, Республика Крым, Россия;
9. IV Всероссийская научная конференция с международным участием «Геодинамические процессы и природные катастрофы», 6–10 сентября 2021 г., Россия, г. Южно-Сахалинск;
10. XXV Всероссийская ежегодная конференция «Солнечная и солнечно-земная физика-2021», 4–8 октября 2021 г., Россия, г. Санкт-Петербург;
11. Всероссийская конференция с международным участием «Собственное излучение, структура и динамика средней и верхней атмосферы», 22–23 ноября 2021 г., Россия, Москва;
12. V Всероссийская астрономическая конференция «Небо и Земля», 23–25 ноября 2021 г., Россия, г. Иркутск;
13. XXVIII конференция «Аэрозоли Сибири», 23–26 ноября 2021 г., Россия, г. Томск, онлайн;
14. IV Всероссийская научно-практическая конференция «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России», 24–26 ноября 2021 г., Россия, г. Иркутск, онлайн.

4.14.2. Международные:

1. Alliance Workshop on Solar Flares and Energetic Particles, 4-5 января 2021 г., онлайн;
2. International Conference and School On Dynamic Variation of Particles and Waves in the Inner Magnetosphere and Ionosphere Using Satellite and Ground-Network Observations and Modeling (PWING-ERG Conference and School), 8–12 марта 2021 г., онлайн;
3. XIII школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса», 24–27 марта 2021 г., онлайн;
4. Международная конференция «Субмиллиметровая и миллиметровая астрономия: задачи и инструменты», 12–16 апреля 2021 г., Россия, г. Москва;
5. Advances in Observation and Modelling of Solar Magnetism and Variability, 1–4 марта 2021 г., онлайн;
6. SKA Science Conference “A precursor view of the SKA sky”, 15–19 марта 2021 г., онлайн;
7. EGU General Assembly 2021, 19–30 апреля 2021 г., онлайн;
8. Multidisciplinary Youth Academic Research Conference “Science Present and Future: Research Landscape in the 21st Century”, 19 мая 2021 г., онлайн;
9. SolFER Spring 2021 Meeting, 24–26 мая 2021 г., онлайн;
10. Международная конференция и Школа молодых ученых «Климатические риски и космическая погода», 14–17 июня 2021 г., онлайн;
11. Международная конференция «Планетарий XXI века», 16–19 июня 2021 г., Россия, г. Ярославль;
12. 47th EPS Plasma Physics Conference, 21–25 июня 2021 г., онлайн;
13. RHESSI-20 Workshop: Preparing for the Next Decade in High-Energy Solar Physics Research, 6–9 июля 2021 г., онлайн;
14. Международный симпозиум по атмосферной радиации и динамике (МСАРД-2021), 29 июня – 1 июля 2021 г., онлайн;
15. XXVII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосфер», 5–9 июля 2021 г., онлайн;
16. National Astronomy Meeting 2021, 19–23 июля 2021 г., онлайн;
17. Joint Scientific Assembly IAGA-IASPEI 2021, 21–27 августа 2021 г., онлайн;
18. URSI GASS 2021, 28 августа – 4 сентября 2021 г., онлайн;
19. The 16th European Solar Physics Meeting, 6–10 сентября 2021 г., онлайн;
20. XVIIth Hvar Astrophysical Colloquium, 20–24 сентября 2021 г., онлайн;
21. XII Международная конференция «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений», 27 сентября – 1 октября 2021 г., с. Паратунка, Камчатский край, Россия;
22. 19-я международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 15–19 ноября 2021 г., Россия, г. Москва;
23. PhotonIcs and Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2021), 22 ноября 2021 г., онлайн;
24. The Frequency Agile Solar Radiotelescope (FASR 2021) Workshop, 1–3 декабря 2021 г., онлайн.

5. ПУБЛИКАЦИИ

5.1. Российские издания

1. Анфиногентов С.А., Кальтман Т.И., Ступишин А., Накаряков В.М., Лукичева М. Диагностика плазменных струй в короне Солнца // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 2. С. 3–11. DOI: 10.12737/szf-72202101.
2. Балабин Ю.В., Луковникова А.А., Гвоздевский Б.Б., Германенко А.В., Михалко Е.А., Янковский И.В. Исследование событий множественности на высокогорном нейтронном мониторе // Изв. РАН. Сер. физическая. 2021. Т. 85, № 5. С. 757–760. DOI: 10.31857/S0367676521030042.
3. Башкирцев В.С., Машнич Г.П. Многолетняя солнечная активность и прогноз климата Земли на 21-й век // System Analysis and Mathematical Modeling. 2021. Т. 3, № 1. С. 5–15. (журнал БГУ, русс.)
4. Богод В.М., Стороженко А.А., Тлатов А.Г., Кузанын К.М., Абунин А.А., Лесовой С.В., Pons O., Uratsuka M., Zaldivar R., Pablo S. Разработка проекта реконструкции Гаванской радиоастрономической станции в составе российских служб Солнца и космической погоды // Космич. исслед. 2021. Т. 59, № 2. С. 102–110. DOI: 10.31857/S0023420621020023.
5. Бородкова Н.Л., Сапунова О.В., Еселевич В.Г., Застенкер Г.Н., Ермолаев Ю.И. Анализ поведения потока ионов солнечного ветра в области овершута межпланетной ударной волны // Геомагнетизм и аэрономия. 2021. Т. 61, № 5. С. 560–571. DOI: 10.31857/S0016794021050047.
6. Буренин Р.А., Бикмаев И.Ф., Гильфанов М.Р., Гроховская А.А., Додонов С.Н., Еселевич М.В., Зазнобин И.А., Иртуганов Э.Н., Лыскова Н.С., Медведев П.С., Мещеряков А.В., Моисеев А.В., Сазонов С.Ю., Старобинский А.А., Сюняев Р.А., Уклеин Р.И., Хабибуллин И.И., Хамитов И.М., Чуразов Е.М. Наблюдение скопления галактик очень большой массы на $Z = 0.76$ в обзоре всего неба SRG/ЕРОЗИТА // Письма в АЖ. 2021. Т. 47, № 7. С. 461–471. DOI: 10.31857/S0320010821070044.
7. Глоба М.В., Лесовой С.В. Калибровка амплитуд коэффициентов передачи антенн Сибирского радиогелиографа с использованием избыточности // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 4. С. 105–111. DOI: 10.12737/szf-74202111.
8. Гульельми А., Потапов А.С. Частотно-модулированные ультранизкочастотные волны в околоземном космическом пространстве // УФН. 2021. Т. 191, № 5. С. 475–491. DOI: 10.3367/UFNr.2020.06.038777.
9. Гульельми А., Клайн Б.И., Потапов А.С. О групповой скорости свистящих атмосфериков // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 4. С. 70–74. DOI: 10.12737/szf-74202106.
10. Данильчук Е.И., Ясюкевич Ю.В., Ясюкевич А.С., Затолокин Д.А. Влияние геомагнитной бури 17 марта 2015 г. на точность GPS-позиционирования в одночастотном режиме // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 1. С. 31–39. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-31-39.
11. Демьянов В.В., Ясюкевич Ю.В. Космическая погода: факторы риска для глобальных навигационных спутниковых систем // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 2. С. 30–52. DOI: 10.12737/szf-72202104.
12. Зазнобин И.А., Буренин Р.А., Бикмаев И.Ф., Хамитов И.М., Хорунжев Г.А., Ляпин А.Р., Еселевич М.В., Лыскова Н.С., Медведев П.С., Гильфанов М.Р., Сюняев Р.А. Спектроскопические измерения красных смещений скоплений галактик из обзора обсерватории им. Планка и наблюдение этих скоплений в обзоре SRG/Ерозита // Письма в АЖ. 2021. Т. 47, № 2. С. 79–88. DOI: 10.31857/S0320010821020066.
13. Зазнобин И.А., Усков Г.С., Сазонов С.Ю., Буренин Р.А., Медведев П.С., Хорунжев Г.А., Ляпин А.Р., Кривонос Р.А., Филиппова Е.В., Гильфанов М.Р., Сюняев Р.А., Еселевич М.В., Бикмаев И.Ф., Иртуганов Э.Н., Николаева Н.С. Оптическое отождествление канди-

датов в активные ядра галактик, обнаруженных телескопом ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории СРГ в ходе рентгеновского обзора всего неба // Письма в АЖ. 2021. Т. 47, № 2. С. 89–106. DOI: 10.31857/S0320010821020078.

14. Зазнобин И.А., Буренин Р.А., Ляпин А.Р., Хорунжев Г.А., Афанасьев В.Л., Гроховская А.А., Додонов С.Н., Еселевич М.В., Уклеин Р.И., Бикмаев И.Ф., Хамитов И.М., Гильфанов М.Р., Лыскова Н.С., Медведев П.С., Сюняев Р.А. Спектроскопические измерения красных смещений скоплений галактик из обзора поля Локмана телескопа eROZITA на борту обсерватории СРГ // Письма в АЖ. 2021. Т. 47, № 3. С. 174–182. DOI: 10.31857/S0320010821030098.

15. Золотухина Н.А., Полех Н.М., Михалев А.В., Белецкий А.Б., Подлесный С.В. Особенности эмиссий 630.0 и 557.7 нм в области главного ионосферного провала: 17 марта 2015 г. // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 3. С. 57–71. DOI: 10.12737/szf-73202105.

16. Кичигин Г.Н. Ионный форшок околоземной ударной волны: теоретическая модель и наблюдательные данные // Геомагнетизм и аэрономия. 2021. Т. 61, № 3. С. 309–315. DOI: 10.31857/S001679402103007X.

17. Кичигин Г.Н. Об ускорении частиц в постоянном магнитном поле и перпендикулярном ему электрическом поле, нарастающем во времени // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 2. С. 24–29. DOI: 10.12737/szf-72202103.

18. Клименко М.В., Клименко В.В., Ратовский К.Г., Ясюкевич А.С. Запаздывание отклика глобального электронного содержания и электронной концентрации на различных высотах на 27-дневные вариации солнечной активности // Химическая физика. 2021. Т. 40, № 5. С. 75–80. DOI: 10.31857/S0207401X21050058.

19. Клименко М.В., Ратовский К.Г., Клименко В.В., Бессараб Ф., Суходолов Т.В., Розанов Е.В. Влияние атмосферы на вариативность электронной концентрации в ионосфере в январе 2009 года // Химическая физика. 2021. Т. 40, № 10. С. 85–90. DOI: 10.31857/S0207401X21100083.

20. Климушкин Д.Ю., Магер П.Н., Челпанов М.А., Костарев Д.В. Взаимодействие длиннопериодных УНЧ-волн и заряженных частиц в магнитосфере: теория и наблюдения (обзор) // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 4. С. 35–69. DOI: 10.12737/szf-74202105.

21. Кочанов А.А., Кузьмин К.С., Морозова А.Д., Синеговская Т.С., Синеговский С.И. Спектры атмосферных нейтрино: статистический анализ сравнения расчета с экспериментом // Изв. РАН. Сер. физическая. 2021. Т. 85, № 4. С. 570–575. DOI: 10.31857/S0367676521040190.

22. Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. Наземное возрастание интенсивности космических лучей на фазе спада 24 солнечного цикла: спектры и анизотропия // Изв. РАН. Сер. физическая. 2021. Т. 85, № 8. С. 1194–1197. DOI: 10.31857/S0367676521080147.

23. Кравцова М.В., Олемской С.В., Сдобнов В.Е. Форбуш-эффект и геомагнитная буря в апреле 1990 г. // Изв. РАН. Сер. физическая. 2021. Т. 85, № 11. С. 1623–1626. DOI: 10.31857/S036767652111017X.

24. Кудрявцева А.В., Мышьяков И.И., Уралов А.М., Гречнев В.В. Микроволновый индикатор потенциальной геоэффективности и жгутовая магнитная структура солнечной активной области // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 1. С. 3–12. DOI: 10.12737/szf-71202101.

25. Купряков Ю.А., Горшков А.Б., Котрч П., Кашапова Л.К. Анализ эруптивного события после солнечной вспышки 7 июня 2011 года // Астрон. журн. 2021. Т. 98, № 10. С. 873–880. DOI: 10.31857/S0004629921100194.

26. Кушнарченко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Признаки аномального поведения ионосферы в 2003–2014 гг. на высотах слоя F1 над Иркутском // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 2. С. 81–87. DOI: 10.12737/szf-72202108.

27. Ларюнин О.А. Определение параметров перемещающихся ионосферных возмущений по ионограммам вертикального зондирования с дополнительными U-образными

- треками // Геомагнетизм и аэрономия. 2021. Т. 61, № 6. С. 763–768. DOI: 10.31857/S0016794021060109.
28. Лесовой С.В., Глоба М.В. Измерение задержек в приемном тракте Сибирского радиогелиографа // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 4. С. 100–104. DOI: 10.12737/szf-74202110.
29. Луковникова А.А. Анализ жесткостных спектров вариаций космических лучей в октябре 2012 г. // Изв. РАН. Сер. физическая. 2021. Т. 85, № 11. С. 1619–1622. DOI: 10.31857/S0367676521110211.
30. Михалев А.В. Долгоживущие метеорные следы, сформированные при радиальном расширении крупных метеороидов // Космич. исслед. 2021. Т. 59, № 6. С. 498–503. DOI: 10.31857/S0023420621060066.
31. Мишин В.В., Караваев Ю.А., Лунюшкин С.Б., Пенских Ю.В., Капустин В.Э. Динамика продольных токов в двух полушариях Земли в ходе магнитосферной бури по данным техники инверсии магнитограмм // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 1. С. 34–39. DOI: 10.12737/szf-71202104.
32. Мишин В.В., Мишин В.М., Курикалова М.А. Динамика асимметрии распределения продольных токов во время суббурь в сезон равноденствия // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 1. С. 40–50. DOI: 10.12737/szf-71202105.
33. Насыров И.А., Когогин Д.А., Шиндин А.В., Грач С.М., Загретдинов Р.В., Белецкий А.Б., Емельянов В.В. Метод построения пространственной картины распределения полного электронного содержания в области стимулированного оптического свечения ионосферы // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. 2021. Т. 163, № 1. С. 59–76. DOI: 10.26907/2541-7746.2021.1.59-76.
34. Носов В.В., Лукин В.П., Ковадло П.Г., Носов Е.В., Торгаев А.В. Перемежаемость колмогоровской и когерентной турбулентности в горном пограничном слое (обзор) // Оптика атмосферы и океана. 2021. Т. 34, № 9. С. 726–749. DOI: 10.15372/AOO20210909.
35. Пархомов В.А., Еселевич В.Г., Еселевич М.В., Дмитриев А.В., Суворова А.В., Хомутов С.Ю., Цэгмэд Б., Райта Т. Магнитосферный отклик на взаимодействие с диамагнитной структурой спорадического солнечного ветра // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 3. С. 12–30. DOI: 10.12737/szf-73202102.
36. Пенских Ю.В., Лунюшкин С.Б., Капустин В.Э. Геомагнитный метод автоматической диагностики границ авроральных овалов в двух полушариях Земли // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 2. С. 63–76. DOI: 10.12737/szf-72202106.
37. Подгорный А.И., Подгорный И.М., Борисенко А.В., Вашенюк Э.В., Балабин Ю.В., Мешалкина Н.С., Гвоздевский Б.Б. Изучение механизма ускорения космических лучей во время солнечных вспышек электрическим полем в токовом слое солнечной короны // Изв. РАН. Сер. физическая. 2021. Т. 85, № 8. С. 1201–1204. DOI: 10.31857/S0367676521080226.
38. Потапов А.С., Полюшкина Т.Н., Цэгмэд Б. Морфология и диагностический потенциал ионосферного альвеновского резонатора // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 3. С. 39–56. DOI: 10.12737/szf-73202104.
39. Птицына Н.Г., Данилова О.А., Тясто М.И., Сдобнов В.Е. Динамика жесткости обрезания космических лучей и параметров магнитосферы во время разных фаз бури 20 ноября 2003 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2021. Т. 61, № 2. С. 160–171. DOI: 10.31857/S0016794021010120.
40. Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б., Васильев Р.В. Географическая привязка кадров широкоугольных оптических систем // ЖТФ. 2021. Т. 91, № 12. С. 1990–1996. DOI: 10.21883/JTF.2021.12.51765.172-21.
41. Тащилин М.А., Яковлева И.П., Сакерин С.М. Пространственно-временные вариации аэрозольной оптической толщи в Байкальском регионе // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 1. С. 219–226. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-219-226.

42. Тимченко А.В., Бессараб Ф., Кореньков Ю.Н., Коренькова Н.А., Борчевкина О.П., Ратовский К.Г. Особенности вариаций критической частоты F2-слоя во время внезапных стратосферных потеплений 1966–2009 гг. по данным станций Калининград и Иркутск // Геомагнетизм и аэрономия. 2021. Т. 61, № 1. С. 94–102. DOI: 10.31857/S0016794021010168.

43. Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Белоусова Е.П. Кластерный анализ молниевых разрядов по данным грозопеленгационной сети «Верея-МР» // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 4. С. 92–99. DOI: 10.12737/szf-74202109.

44. Толстикова М.В., Ратовский К.Г., Медведева И.В., Хабитуев Д.С. Оценка влияния стратосферной активности на ионосферу по данным измерений на комплексе инструментов ИСЗФ СО РАН // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 4. С. 84–91. DOI: 10.12737/szf-74202108.

45. Федоров Р.Р., Бернгардт О.И. Мониторинговые наблюдения метеорного эха на радаре ЕКВ ИСЗФ СО РАН: алгоритмы, валидация, статистика // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 1. С. 59–73. DOI: 10.12737/szf-71202107.

46. Черниговская М.А., Шпынев Б.Г., Ясюкевич А.С., Хабитуев Д.С. Возмущения термосферного молекулярного газа и их связь с долготными неоднородностями ионосферных возмущений в Северном полушарии во время геомагнитной бури // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 15, № 5. С. 295–304. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-295-304.

47. Черниговская М.А., Шпынев Б.Г., Ясюкевич А.С., Хабитуев Д.С., Ратовский К.Г., Белинская А.Ю., Степанов А.В., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А., Коуба Д., Мелич Й. Долготные вариации отклика среднеширотной ионосферы Северного полушария на геомагнитную бурю в октябре 2016 г. с помощью мультиинструментальных наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 15, № 5. С. 305–317. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-305-317.

48. Шиховцев А.Ю., Лукин В.П., Ковадло П.Г. Пути развития систем адаптивной оптики для солнечных телескопов наземного базирования // Оптика атмосферы и океана. 2021. Т. 34, № 5. С. 385–392. DOI: 10.15372/AOO20210512.

49. Яковлева О.Е., Кушнаренко Г.П., Кузнецова Г.М. Поведение электронной концентрации в ионосфере над Норильском в период спада солнечной активности // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 2. С. 77–80. DOI: 10.12737/szf-72202107.

50. Язев С.А. Из Сибири в Сибирь. Судьба сибирского астронома Ивана Наумовича Язева. К 125-летию со дня рождения (1895–1955) // Изв. Иркутского гос. ун-та. Сер. История. 2021. Т. 35. С. 102–112.

51. Язев С.А., Исаева Е.С., Ишмухаметова Ю.В. Активные области на Солнце с повышенной вспышечной активностью в 24 цикле // Астрон. журн. 2021. Т. 98, № 6. С. 506–517. DOI: 10.31857/S0004629921070069.

52. Язев С.А., Ульянова М.М., Исаева Е.С. Комплексы активности на Солнце в 21 цикле солнечной активности // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 4. С. 3–9. DOI: 10.12737/szf-74202101.

53. Ясюкевич А.С. Свойства короткопериодной возмущенности полного электронного содержания на средних и высоких широтах // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 4. С. 75–83. DOI: 10.12737/szf-74202107.

5.2. Зарубежные издания (включая переводные)

1. Afanasiev N.T., Trofimov E.A., Chudaev S.O. Modelling of turbulent structure of plasma inhomogeneity according to decameter data transionospheric sensing // J. Physics: Conference Ser. 2021. Vol. 1847, no. 1. Dynamic Systems and Computer Science: Theory and Ap-

- plications. DYSC 2020, Irkutsk; Russia, 19–22 October, 2020. P. 012034. DOI: 10.1088/1742-6596/1847/1/012034.
2. Afanasyev A.N., Kazachenko M.D., Fan Y., Fisher G.H., Tremblay B. Validation of the PDFI_SS method for electric field inversions using a magnetic flux emergence simulation // *Astrophys. J.* 2021. Vol. 919, no. 1. P. 7. DOI:10.3847/1538-4357/ac0d01.
 3. Anfinogentov S., Nakariakov V.M., Pascoe D.J., Goddard C.R. Solar Bayesian Analysis Toolkit-A New Markov Chain Monte Carlo IDL Code for Bayesian Parameter Inference // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2021. Vol. 252, no. 1. P. 11. DOI: 10.3847/1538-4365/abc5c1.
 4. Anfinogentov S., Kaltman T.L., Stupishin A., Nakariakov V.M., Loukitcheva M. Diagnostics of plasma jets in the solar corona // *Solar-Terr. Phys.* 2021. Vol. 7, no. 2. P. 3–10. DOI: 10.12737/stp-72202101.
 5. Balabin Yu.V., Lukovnikova A.A., Gvozdevsky B., Germanenko A., Mikhalko E.A., Yankovsky I.V. Studying multiplicity events at a high-altitude neutron monitor // *Bull. Russian Academy of Sciences: Physics.* 2021. Vol. 85, no. 5. P. 592–594. DOI: 10.3103/S1062873821030047.
 6. Bergardt O.I., Fedorov R.R., Ponomarenko P., Grkovich K. Interferometric calibration and the first elevation observations at EKB ISTP SB RAS radar at 10–12 MHz // *Polar Sci.* 2021. Vol. 28, no. 6. P. 100628. DOI: 10.1016/j.polar.2020.100628.
 7. Bogod V.M., Storozhenko A., Tlatov A.G., Kuzanyan K.M., Abunin A.A., Lesovoi S.V., Pons O., Uratsuka M., Zaldívar R., Pablo S. Development of the project for reconstruction of the Havana Radio Astronomy Station as part of the Russian solar and space weather services // *Cosmic Res.* 2021. Vol. 59, no. 2. P. 80–88. DOI: 10.1134/S0010952521020027.
 8. Bol'basova L.A., Andrakhanov A.A., Shikhovtsev A.Yu. The application of machine learning to predictions of optical turbulence in the surface layer at Baikal Astrophysical Observatory // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2021. Vol. 504, no. 4. P. 6008–6017. <https://doi.org/10.1093/mnras/stab953>.
 9. Borodkova N.L., Sapunova O.V., Eselevich V.G., Zastenker G.N., Yermolaev Yu.I. Analysis of the behavior of the solar wind ion flux in the region of the interplanetary shock overshoot // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2021. Vol. 61, no. 5. P. 666–677. DOI: 10.1134/S0016793221050042.
 10. Burenin R.A., Bikmaev I., Gilfanov M.R., Grokhovskaya A.A., Dodonov S., Eselevich M.V., Zaznobin I.A., Irtuganov E.N., Lyskova N.S., Medvedev P.S., Meshcheryakov A., Moiseev A.V., Sazonov S.Yu., Starobinsky A.A., Sunyaev R.A., Uklein R.I., Khabibullin I.I., Khamitov I., Churazov E.M. Observation of a very massive galaxy cluster at $z = 0.76$ in the SRG/eROSITA All-Sky Survey // *Astron. Lett.* 2021. Vol. 47, no. 7. P. 443–453. DOI: 10.1134/S1063773721070045.
 11. Chelpanov A.A., Kobanov N.I. Using flare-induced modulation of three- and five-minute oscillations for studying wave propagation in the solar atmosphere // *Solar Phys.* 2021. 296:180. DOI: 10.1007/s11207-021-01910-5.
 12. Chelpanov M., Mager O.V. Observing drift compressional waves in the nightside ionosphere using the Ekaterinburg radar // *Polar Sci.* 2021. Vol. 28, no. 6. P. 100630. DOI: 10.1016/j.polar.2020.100630.
 13. Chelpanov A.A., Kobanov N.I., Chelpanov M.A., Kiselev A.V. Propagating oscillations in the lower atmosphere under coronal holes // *Solar Phys.* 2021, 296:179. DOI: 10.1007/s11207-021-01909-y.
 14. Chernigovskaya M.A., Shpynev B.G., Yasyukevich A., Khabituev D.S., Ratovsky K.G., Belinskaya A.Yu., Stepanov A.E., Bychkov V.V., Grigorieva S.A., Panchenko V.A., Koubag D. Longitudinal variations of geomagnetic and ionospheric parameters in the Northern Hemisphere during magnetic storms according to multi-instrument observations // *Adv. Space Res.* 2021. Vol. 67, no. 2. P. 762–776. DOI: 10.1016/j.asr.2020.10.028.

15. Churilov S.M., Stepanyants Y. Hydrodynamic models of astrophysical wormholes: The general concept // *Physics of Fluids*. 2021. Vol. 33, no. 77. P. 077121. DOI 10.1063/5.0056877.
16. Egorov Ya.I., Fainshtein V.G., Prosovetsky D.V. Finding Spots in a CME-related shock where physical conditions can emerge favoring type II radio burst generation on 2010 June 13 // *Solar Phys.* 2021. Vol.246, no. 4. P. 58. DOI: 10.1007/s11207-021-01788-3.
17. Egorov Ya.I., Fainshtein V.G. A simple technique for identifying the propagation direction of CMEs in 3D // *Solar Phys.* 2021. Vol. 296, no. 11. P. 161. DOI: 10.1007/s11207-021-01904-3.
18. Demyanov V.V., Yasyukevich Yu.V. Space weather: risk factors for global navigation satellite systems // *Solar-Terr. Phys.* 2021. Vol. 7, no. 2. P. 28–47. DOI: 10.12737/stp-72202104.
19. Dubinov A.E., Kitayev I.N., Kolotkov D. The separation of ions and fluxes in nonlinear ion-acoustic waves // *Physics of Plasmas*. 2021. Vol. 28, no. 81. P. 083702. DOI: 10.1063/5.0059952.
20. Duckenfield T., Kolotkov D., Nakariakov V.M. The effect of the magnetic field on the damping of slow waves in the solar corona // *Astron. Astrophys.* 2021. Vol. 646. P. A155. DOI: 10.1051/0004-6361/202039791.
21. Fedorov R.R., Berngardt O.I. Monitoring observations of meteor echo at the EKB ISTP SB RAS radar: algorithms, validation, statistics // *Solar-Terr. Phys.* 2021. Vol. 7, no. 1. P. 47–58. DOI:10.12737/stp-71202107.
22. Fleishman G.D., Anfinogentov S., Stupishin A., Kuznetsov A.A., Nita G.M. Coronal heating law constrained by microwave gyroresonant emission // *Astrophys. J.* 2021. Vol. 909, no. 1. P. 89. DOI: 10.3847/1538-4357/abdab1.
23. Fleishman G.D., Kuznetsov A.A., Landi E. Gyroresonance and free-free radio emissions from multithermal multicomponent plasma // *Astrophys. J.* 2021. Vol. 914, no. 1. P. 52. DOI: 10.3847/1538-4357/abf92c.
24. Guglielmi A., Potapov A.S. Frequency-modulated ultra-low-frequency waves in near-Earth space // *Physics-Uspekhi*. 2021. Vol. 64, no. 5. P. 452–467. DOI: 10.3367/UFNe.2020.06.038777.
25. Ivanova V.A., Podlesnyi A.V., Rybkina A.A., Poddelsky A.I. Wave ionospheric disturbance registered during the magnetic storm on April 20, 2018 // *Proc. SPIE*. 2021. Vol. 11916. Ст. 11916 85. P. 252.
26. Ivanova V.A., Cedrik M., Podlesnyi A.V., Poddelsky A.I. Dependence between amplitude and frequency characteristics of HF-signals on the background of solar X-ray flares // *Proc. SPIE*. 2021. Vol. 11916. Ст. 11916 86. P. 262.
27. Karakhanyan A.A., Molodykh S.I. Impact of atmospheric circulation on climate changes under quiet conditions and during geomagnetic disturbances // *Proc. SPIE*. 2021. Vol. 11916. Ст. 11916 84. P. 248.
28. Kashapova L.K., Broomhall A., Larionova A., Kupriyanova E.G., Motyk I. The morphology of average solar flare time profiles from observations of the Sun's lower atmosphere // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2021. Vol. 502, no. 3. P. 3922–3931. DOI: 10.1093/mnras/stab276.
29. Kichigin G.N. Ionic foreshock of a near-earth shock wave: theoretical model and observational data // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2021. Vol. 61, no. 3. P. 325–330. DOI: 10.1134/S0016793221030075.
30. Kim D. Ch., Ageeva E.T., Afanasiev N.T., Chudaev S.O., Mahro I.G., Medvedeva O.I. An operational method for calculating the frequency fluctuations of a radio signal in a randomly inhomogeneous ionosphere // *J. Physics: Conf. Ser.* 2021. Vol. 1847, no. 1. *Dynamic Systems and Computer Science: Theory and Applications, DYSC 2020*; Irkutsk; Russia, 19–22 October, 2020. P. 012040. DOI: 10.1088/1742-6596/1847/1/012040.
31. Kitchatinov L.L., Khlystova A.I. Dynamo model for north-south asymmetry of solar activity // *Astrophys. J.* 2021. Vol. 919, no. 1. P. 36. DOI 10.3847/1538-4357/ac1113.

32. Kitchatinov L.L. Hall instability: origin, properties and asymptotic theory for its tearing mode // *J. Plasma Phys.* 2021. Vol. 87, no. 4. P. Id: 905870404. DOI: 10.1017/S0022377821000726.
33. Klimenko M., Klimenko V.V., Ratovsky K.G., Yasyukevich A. Delay in response of global electron content and electron concentration at various altitudes to 27-day variations in solar activity // *Russian J. Physical Chemistry B.* 2021. Vol. 15, no. 3. P. 566–571. DOI: 10.1134/S1990793121030052.
34. Klimushkin D., Mager P. Cherenkov radiation of the fast magnetoacoustic waves in the non-uniform magnetospheric plasma // *Physics of Plasmas.* 2021. Vol. 28, no. 2. P. 022901. DOI: 10.1063/5.0035904.
35. Kochanov A.A., Kuzmin K.S., Morozova A., Sinegovskaya T.S., Sinegovsky S.I. Atmospheric neutrino spectra: a statistical analysis of calculations in comparison with experiment // *Bull. Russian Academy of Sciences: Physics.* 2021. Vol. 85, no. 4. P. 433–437. DOI: 10.3103/S1062873821040195.
36. Kolotkov D., Nakariakov V.M., Moss G., Shellard P. Fast magnetoacoustic wave trains: from tadpoles to boomerangs // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2021. Vol. 505, no. 3. P. 3505–3513. DOI: 10.1093/mnras/stab1587.
37. Kolotkov D., Zavershinskii D., Nakariakov V.M. The solar corona as an active medium for magnetoacoustic waves // *Plasma Physics and Controlled Fusion.* 2021. Vol. 63, no. 11. P. 124008. DOI: 10.1088/1361-6587/ac36a5.
38. Kosovichev A.G., Pipin V.V., Getling A.V. The Origin Of The extended solar cycle // *Bull. American Astron. Soc.* 2021. Vol. 53, no. 6. American Astronomical Society meeting #238. e-id 2021n6i304p05. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021AAS...23830405K/abstract>.
39. Kostarev D.V., Mager P., Klimushkin D. Alfvén wave parallel electric field in the dipole model of the magnetosphere: gyrokinetic treatment // *J. Geophys. Res.* 2021. Vol. 126, no. 2. P. e2020JA028611. DOI: 10.1029/2020JA028611.
40. Kostarev D.V., Klimushkin D., Mager P. Integral equations for problems on wave propagation in near-earth plasma // *Symmetry.* 2021. Vol. 13, no. 8. P. 1395. DOI: 10.3390/sym13081395.
41. Kovadlo P.G., Shikhovtsev A.Yu., Kopylov E.A., Kiselev A.V., Russkikh I.V. Study of the optical atmospheric distortions using wavefront sensor data // *Russian Physics J.* 2021. Vol. 63, no. 3. P. 1952–1958. DOI: 10.1007/s11182-021-02256-y.
42. Kovadlo P.G., Shikhovtsev A.Yu., Kopylov E.A., Kiselev A.V., Russkikh I.V. Correction to: Study of the optical atmospheric distortions using wavefront sensor data (*Russian Physics J.* 2021. Vol. 63, no. 11 (1952–1958). DOI: 10.1007/s11182-021-02256-y) // *Russian Physics J.* 2021. Vol. 64, no. 2. P. 370. DOI: 10.1007/s11182-021-02338-x.
43. Kravtsova M., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E. Ground level enhancements of cosmic rays on October–November 2003 // *J. Atm. Sol.-Terr. Phys.* 2021. Vol. 221. P. 105707. DOI: 10.1016/j.jastp.2021.105707.
44. Kravtsova M., Sdobnov V.E. Ground-level enhancement in the intensity of cosmic rays during the decay phase of solar cycle 24: spectra and anisotropy // *Bull. Russian Academy of Sciences: Physics.* 2021. Vol. 85, no. 8. P. 919–921. DOI: 10.3103/S1062873821080128.
45. Kudryavtseva A., Myshyakov I.I., Uralov A.M., Grechnev V.V. Microwave indicator of potential geoeffectiveness and magnetic flux-rope structure of a solar active region // *Solar-Terr. Phys.* 2021. Vol. 7, no. 1. P. 3–10. DOI: 10.12737/stp-71202101.
46. Kupryuakov Yu.A., Gorshkov A.B., Kotrc P., Kashapova L.K. Analysis of the eruptive event after the solar flare of June 7, 2011 // *Astron. Rep.* 2021. Vol. 65, no. 9. P. 876–883. DOI: 10.1134/S1063772921100188.
47. Kushnarenko G.P., Yakovleva O.E., Kuznetsova G.M. Signs of anomalous behavior of the ionosphere in 2003–2014 at F1-layer heights over Irkutsk // *Solar-Terr. Phys.* 2021. Vol. 7, no. 2. P. 74–80. DOI: 10.12737/stp-72202108.

48. Kuznetsov A.A., Kolotkov D. Stellar superflares observed simultaneously with Kepler and XMM-Newton // *Astrophys. J.* 2021. Vol. 912, no. 1. P. 81. DOI: 10.3847/1538-4357/abf569.
49. Kuznetsov A.A., Fleishman G.D. Ultimate fast gyrosynchrotron codes // *Astrophys. J.* 2021. Vol. 922, no. 2. P. 103. DOI: 10.3847/1538-4357/ac29c0.
50. Laryunin O.A. Studying characteristics of traveling ionospheric disturbances using U-shaped traces on vertical incidence ionograms // *Adv. Space Res.* 2021. Vol. 67, no. 3. P. 1085–1089. DOI: 10.1016/j.asr.2020.11.007.
51. Leonovich A.S., Zong Q.C., Kozlov D.A., Kotovschikov I.P. The field of shock-generated Alfvén oscillations near the plasmopause // *J. Geophys. Res.* 2021. Vol. 126, no. 8. P. e2021JA029488. DOI: 10.1029/2021JA029488.
52. Leonovich A.S., Kozlov D.A., Vlasov A.A. Kinetic Alfvén waves near a dissipative layer // *J. Geophys. Res.* 2021. Vol. 126, no. 10. P. e2021JA029580. DOI: 10.1029/2021JA029580.
53. Mager O.V. Alfvén waves generated through the drift-bounce resonant instability in the ring current: A THEMIS multi-spacecraft case study // *J. Geophys. Res.* 2021. Vol. 126, no. 11. P. e2021JA029241. DOI: 10.1029/2021JA029241.
54. Mager P.N., Klimushkin D.Y. The field line resonance in the three-dimensionally inhomogeneous magnetosphere: Principal features // *J. Geophys. Res.* 2021. Vol. 126, no. 1. P. e2020JA028455. DOI: 10.1029/2020JA028455.
55. Medvedeva I.V., Ratovsky K.G. Studying effects of winter sudden stratospheric warmings from observations at middle and high latitudes // *Proc. SPIE.* 2021. Vol. 11916. Ст. 11916 7E. P. 110.
56. Miao Y., Li D., Yuan D., Jiang C., Elmhamdi A., Zhao M., Anfinogentov S. Diagnosing a solar flaring core with bidirectional quasi-periodic fast propagating magnetoacoustic waves // *Astrophys. J. Lett.* 2021. Vol. 908, no. 2. P. L37. DOI: 10.3847/2041-8213/abdfce.
57. Miao Y., Fu L., Du X., Yuan D., Jiang C., Su J., Zhao M., Anfinogentov S. Light bridges can suppress the formation of coronal loops // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc. Lett.* 2021. Vol. 506, no. 1. P. L35–L39. DOI: 10.1093/mnrasl/slab071.
58. Mikhalev A.V. Long-living meteoroids formed during radial expansion of large meteoroids // *Cosmic Res.* 2021. Vol. 59, no. 6. P. 472–477. DOI: 10.1134/S001095252106006X.
59. Mishin V.V., Karavaev Yu.A., Silina A.S., Penskikh Yu., Kapustin V.E. Dynamics of field-aligned currents in two hemispheres during a magnetospheric storm from magnetogram inversion technique data // *Solar-Terr. Phys.* 2021. Vol. 7, no. 1. P. 27–31. DOI: 10.12737/stp-71202104.
60. Mishin V.V., Mishin V.M., Kurikalova M.A. Dynamics of the field-aligned currents distribution asymmetry during substorms in the equinox season // *Solar-Terr. Phys.* 2021. Vol. 7, no. 1. P. 32–40. DOI: 10.12737/stp-71202105.
61. Molodykh S.I., Karakhanyan A.A., Kirichenko K. Impact of solar activity on atmospheric circulation and oceanic surface currents // *Proc. SPIE.* 2021. Vol. 11916. Ст. 11916 7M. P. 147.
62. Mosna Z., Edemskiy I.K., Lastovicka J., Kozubek M., Knizova P.K., Kouba D., Siddiqui T.A. Observation of the ionosphere in middle latitudes during 2009, 2018 and 2018/2019 sudden stratospheric warming events // *Atmosphere.* 2021. Vol. 12, no. 5. P. 602. DOI: 10.3390/atmos12050602.
63. Mullner M., Zwintz K., Corsaro E., Steindl T., Potravnov I.S., Guenther E.W., Kniazev A., Gvaramadze V. Searching for solar-like oscillations in pre-main sequence stars using APOLLO // *Astron. Astrophys.* 2021. Vol. 647. P. A168. DOI: 10.1051/0004-6361/202039578.
64. Nakariakov V.M., Anfinogentov S., Antolin P., Jain R., Kolotkov D., Kupriyanova E.G., Li D., Magyar N., Nistico G., Pascoe D.J., Srivastava A., Terradas J. Kink oscillations of coronal loops // *Space Sci. Rev.* 2021. Vol. 217, no. 6. P. 73. DOI: 10.1007/s11214-021-00847-2.

65. Obridko V.N., Pipin V.V., Sokoloff D.D., Shibalova A.S. Solar large-scale magnetic field and cycle patterns in solar dynamo // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2021. Vol. 504, no. 4. P. 4990–5000. DOI:10.1093/mnras/stab1062.
66. Obridko V.N., Sokoloff D.D., Pipin V.V., Shibalova A.S., Livshits M.A. Zonal harmonics of solar magnetic field for solar cycle forecast // *J. Atm. Sol.-Terr. Phys.* 2021. Vol. 225. P. 105743. DOI: 10.1016/j.jastp.2021.105743.
67. Padokhin A., Mylnikova A.A., Yasyukevich Yu.V., Morozov Y.V., Kurbatov G., Vesnin A.M. Galileo e5 altboc signals: Application for single-frequency total electron content estimations // *Remote Sensing.* 2021. Vol. 13, no. 19. P. 3973. DOI 10.3390/rs13193973.
68. Parkhomov V.A., Eselevich V.G., Eselevich M.V., Dmitriev A., Suvorova A., Kholmutoy S., Tsegmed B., Raita T. Magnetospheric response to the interaction with the sporadic solar wind diamagnetic structure // *Solar-Terr. Phys.* 2021. Vol. 7, no. 3. P. 11–28. DOI: 10.12737/szf-73202102.
69. Pensikh Yu., Lunyushkin S.B., Kapustin V.E. Geomagnetic method for automatic diagnostics of auroral oval boundaries in two hemispheres of Earth // *Solar-Terr. Phys.* 2021. Vol. 7, no. 2. P. 57–69. DOI: 10.12737/stp-72202106.
70. Pevtsov A., Bertello L., Nagovitsyn Yu.A., Tlatov A.G., Pipin V.V. Long-term studies of photospheric magnetic fields on the Sun (Review) // *J. Space Weather Space Climate.* 2021. Vol. 11. P. 4. DOI: 10.1051/swsc/2020069.
71. Pipin V.V. Solar dynamo cycle variations with a rotational period // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2021. Vol. 502, no. 2. P. 2565–2581. DOI: 10.1093/mnras/stab033.
72. Pipin V.V. The magnetic helicity density patterns from non-axisymmetric solar dynamo // *J. Plasma Phys.* 2021. Vol. 87, no. 1. P. 775870101. DOI: 10.1017/S0022377820001609.
73. Podgorny A.I., Podgorny I.M., Borisenko A.V., Vashenyuk E.V., Balabin Yu.V., Meshalkina N.S., Gvozdevskiy B.B. Investigating the mechanism of the acceleration of cosmic rays during solar flares using the electric field in current sheets of the solar corona // *Bull. Russian Academy of Sciences: Physics.* 2021. Vol. 85, no. 8. P. 925–927. DOI 10.3103/S1062873821080207.
74. Polyachenko E.V., Shukhman I.G., Borodina O.I. Damped perturbations in stellar systems: genuine modes and Landau-damped waves // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2021. Vol. 503, no. 1. P. 660–668. DOI: 10.1093/mnras/stab537.
75. Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Kotovich G.V., Kurkin V.I., Oinats A.V., Podlesnyi A.V. Determination of ionospheric parameters from data of sounding with continuous chirp signal // *Proc. SPIE.* 2021. Vol. 11916. Ct. 11916 79. P. 74.
76. Potapov A.S., Polyushkina T., Tsegmed B. Morphology and diagnostic potential of the ionospheric Alfvén resonator // *Solar-Terr. Phys.* 2021. Vol. 7, no. 3. P. 36–52. DOI: 10.12737/szf-73202104.
77. Ptitsyna N.G., Danilova O.A., Tyasto M.I., Sdobnov V.E. Dynamics of cosmic-ray cutoff rigidity and magnetospheric parameters during different phases of the storm of November 20, 2003 // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2021. Vol. 61, no. 2. P. 169–179. DOI: 10.1134/S0016793221010114.
78. Ramsay G., Kolotkov D., Doyle J.G., Doyle L. Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) Observations of Flares and Quasi-Periodic Pulsations from Low-Mass Stars and Potential Impact on Exoplanets // *Solar Phys.* 2021. Vol. 296, no. 11. P. 162. DOI: 10.1007/s11207-021-01899-x.
79. Ratovsky K.G., Klimenko M., Vasilyev R.V., Klimenko V.V., Podlesnyi A.V. Vertical plasma transport in the ionosphere over Irkutsk during St. Patrick’s Day geomagnetic storm: Observations and modeling // *Adv. Space Res.* 2021. Vol. 67, no. 1. P. 122–132. DOI: 10.1016/j.asr.2020.10.021.
80. Saunkin A.V., Vasilyev R.V., Zorkaltseva O.S. Airglow intensity of atomic oxygen 557.7 nm according to satellite and ground-based observations over Eastern Siberia // *Proc. SPIE.* 2021. Vol. 11916. Ct. 11916 82. P. 235.

81. Sazonov S.Yu., Gilfanov M.R., Medvedev P.S., Yao Y., Khorunzhev G.A., Semena A.N., Sunyaev R.A., Burenin R.A., Lyapin A.R., Meshcheryakov A., Uskov G.S., Zaznobin I.A., Postnov K.A., Dodin A.V., Belinski A.A., Cherepashchuk A.M., Eseevich M.V., Dodonov S., Grokhovskaya A.A., Kotov S.S., Bikmaev I., Zhuchkov R., Gumerov R.I., van Velzen S., Kulkarni S. First tidal disruption events discovered by SRG/eROSITA: X-ray/optical properties and X-ray luminosity function at z 0.6. // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2021. Vol. 508, no. 3. P. 3820–3847. DOI: 10.1093/mnras/stab2843.
82. Sergeeva M.A., Demyanov V.V., Maltseva O.A., Mokhnatkin A., Rodriguez-Martinez M., Gutierrez R., Vesnin A.M., Gatica-Acevedo V., Gonzalez-Esparza J., Fedorov M.E., Ishina T.V., Pazos M., Gonzalez L.X., Corona-Romero P., Mejia-Ambriz J.C., Gonzalez-Aviles J.J., Aguilar-Rodriguez E., Cabral-Cano E., Mendoza B., Romero-Hernandez E., Caraballo R., Orrala-Legorreta I.D. Assessment of morelian meteoroid impact on Mexican environment // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12, no. 2. P. 185. DOI: 10.3390/atmos12020185.
83. Shestakov N., Orlyakovskiy A., Perevalova N.P., Titkov N., Chebrov D., Ohzono M., Takahashi H. Investigation of ionospheric response to June 2009 Sarychev Peak Volcano Eruption // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13, no. 4. P. 638. DOI: 10.3390/rs13040638.
84. Shikhovtsev A.Yu., Kovadlo P.G., Kiselev A.V., Kolobov D.Y., Lukin V.P., Russkikh I.V., Shikhovtsev M.Yu. Modified method to detect the turbulent layers in the atmospheric boundary layer for the large solar vacuum telescope // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12, no. 2. P. 159. DOI: 10.3390/atmos12020159.
85. Shikhovtsev A.Yu., Zhang L., Ran X., Kiselev A.V., Rao C., Kovadlo P.G., Kolobov D.Y., Russkikh I.V. Comparative analysis of optical turbulence at the Fuxian Lake Observatory and Baikal astrophysical observatory // *Proc. SPIE*. 2021. Vol. 11916. Cт. 11916 0D. P. 8.
86. Skomorovsky V.I., Kushtal G.I., Tokareva L.S. Solc filter in optically active anisotropic crystal slabs // *Optik*. 2021. Vol. 245. P. 167655. DOI 10.1016/j.ijleo.2021.167655.
87. Stejko A.M., Kosovichev A.G., Pipin V.V. Forward Modeling Helioseismic signatures of one- and two-cell meridional circulation // *Astrophys. J.* 2021. Vol. 911, no. 2. P. 90. DOI: 10.3847/1538-4357/abec70.
88. Sych R.A., Jess D., Su J. The dynamics of 3-min wavefronts and their relation to sunspot magnetic fields: The dynamics of 3-minute wavefronts // *Philosophical Trans. Royal Soc. A*. 2021. Vol. 379, no. 2190. P. 20200180. DOI: 10.1098/rsta.2020.0180rsta20200180.
89. Takeshita Y., Shiokawa K., Miyoshi Y., Ozaki M., Kasahara Y., Oyama S.-I., Connors M., Manninen J., Jordanova V.K., Baishev D.G., Oinats A.V., Kurkin V.I. Study of spatio-temporal development of global distribution of magnetospheric ELF/VLF waves using ground-based and satellite observations, and RAM-SCB simulations, for the March and November 2017 storms // *J. Geophys. Res.* 2021. Vol. 126, no. 2. P. e2020JA028216. DOI: 10.1029/2020JA028216.
90. Tashchilin A.V., Leonovich L.A. Estimation of variations in the thermosphere parameters during a magnetic storm from satellite measurements of thermospheric density // *Proc. SPIE*. 2021. Vol. 11916. Cт. 11916 7S. P. 197.
91. Thalmann J. K., Georgoulis M.K., Liu Y., Pariat E., Valori G., Anfinogentov S., Chen F., Guo Y., Moraitis K., Yang S. Magnetic helicity estimations in models and observations of the solar magnetic field. Part IV: application to solar observations // *Astrophys. J.* 2021. Vol. 922, no. 1. P. 41. DOI: 10.3847/1538-4357/ac1f93.
92. Timchenko A.V., Bessarab F.S., Korenkov Y.N., Korenkova N.A., Borchevkina O.P., Ratovsky K.G. Features of variations in the F2-layer critical frequency during the sudden stratospheric warnings of 1966–2009 according to data from Kaliningrad and Irkutsk stations // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2021. Vol. 61, no. 1. P. 100–107. 10.1134/S0016793221010151.
93. Yakovleva O.E., Kushnarenko G. P., Kuznetsova G. M. Behavior of electron density in the ionosphere over Norilsk during the period of declining solar activity // *Solar-Terr. Phys.* 2021. Vol. 7, no. 2. P. 70–73. DOI: 10.12737/stp-72202107.
94. Yazev S.A., Isaeva E.S., Ishmukhametova Y.V. Active regions on the Sun with increased flare activity in cycle 24 // *Astron. Rep.* 2021. Vol. 65, no. 6. P. 507–517. DOI: 10.1134/S1063772921070064.

95. Yasyukevich Yu.V., Yasyukevich A., Astafyeva E.I. How modernized and strengthened GPS signals enhance the system performance during solar radio bursts // *GPS Solutions*. 2021. Vol. 25, no. 2. P. 46. DOI: 10.1007/s10291-021-01091-5.
96. Yasyukevich Yu.V., Vesnin A.M., Kurkin V.I. Global navigation satellite systems for ionospheric error correction in radio-engineering systems: challenges and prospects // *Radio-physics and Quantum Electronics*. 2021. Vol. 63, no. 3. P. 177–190. DOI: 10.1007/s11141-021-10044-4.
97. Vasiliev A., Yasyukevich Yu.V., Garashchenko A.A., Edemskiy I.K., Vesnin A.M., Sidorov D. Computer vision for GNSS-based detection of the auroral oval boundary // *International Journal of Artificial Intelligence*. 2021. Vol. 19, no. 2. P. 132–151.
98. Vasilyev R.V., Syrenova T., Beletsky A.B., Artamonov M., Merzlyakov E.G., Podlesny A.V., Cedrik M. Studying a long-lasting meteor trail from stereo images and radar data // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12, no. 7. P. 841. DOI: 10.3390/atmos12070841.
99. Wang T., Ofman L., Yuan D., Reale F., Kolotkov D., Srivastava A. Slow-mode magnetoacoustic waves in coronal loops (Review) // *Space Sci. Rev.* 2021. Vol. 217, no. 2. P. 34. DOI: 10.1007/s11214-021-00811-0.
100. Wang X., Demidov M.L., Deng Y., Zhang X. The passband integration properties of Birefringent filter // *Scientific Rep.* 2021. Vol. 11, no. 1. P. 17044. DOI 10.1038/s41598-021-96126-9.
101. Wang X., Demidov M.L., Deng Y., Zhang X. Author Correction: The passband integration properties of birefringent filter (*Scientific Rep.*, (2021), Vol. 11, no. 1, P. 17044, DOI: 10.1038/s41598-021-96126-9) // *Scientific Rep.* . 2021. Vol. 11, no. 1. P. 22216. DOI 10.1038/s41598-021-01719-z.
102. Wu W., Sych R.A., Chen J., Su J. Magneto-acoustic waves in magnetic twisted flux tubes // *Res. Astron. Astrophys.* 2021. Vol. 21, no. 5. P. Id.126. DOI: 10.1088/1674-4527/21/5/12.
103. Zavershinskii D., Kolotkov D., Riashchikov D., Molevich N. Mixed Properties of slow magnetoacoustic and entropy waves in a plasma with heating/cooling misbalance // *Solar Phys.* 2021. Vol. 296, no. 6. P. 96. DOI: 10.1007/s11207-021-01841-1.
104. Zaznobin I.A., Burenin R.A., Bikmaev I., Khamitov I., Khorunzhev G.A., Lyapin A.R., Eselevich M.V., Lyskova N.S., Medvedev P.S., Gilfanov M.R., Sunyaev R.A. Spectroscopic Redshift Measurements for Galaxy Clusters from the Planck Survey and Observations of These Clusters in the SRG/eROSITA Survey // *Astronomy Lett.* 2021. Vol. 47, no. 2. P. 61–70. DOI: 10.1134/S1063773721020055.
105. Zaznobin I.A., Uskov G.S., Sazonov S.Yu., Burenin R.A., Medvedev P.S., Khorunzhev G.A., Lyapin A.R., Krivonos R.A., Filippova E.A., Gilfanov M.R., Sunyaev R.A., Eselevich M.V., Bikmaev I., Irtuganov E.N., Nikolaeva E.A. Optical identification of candidates for active galactic nuclei detected by the Mikhail Pavlinsky ART-XC Telescope onboard the SRG Observatory during an all-sky X-ray survey // *Astronomy Lett.* 2021. Vol. 47, no. 2. P. 71–87. <https://doi.org/10.1134/S1063773721020067>.
106. Zaznobin I.A., Burenin R.A., Lyapin A.R., Khorunzhev G.A., Afanasiev V.L., Grokhovskaya A.A., Dodonov S., Eselevich M.V., Uklein R.I., Bikmaev I., Khamitov I., Gilfanov M.R., Lyskova N., Medvedev P.S., Sunyaev R.A. Spectroscopic redshift measurements for galaxy clusters from the Lockman Hole Survey with the eROSITA Telescope onboard the SRG Observatory // *Astronomy Lett.* 2021. Vol. 47, no. 3. P. 141-149. DOI: 10.1134/S1063773721030075.
107. Zhukov A., Yasyukevich, Yu.V., Bykov A.E. GIMLi: Global ionospheric total electron content model based on machine learning // *GPS Solutions*. 2021. Vol. 25, no. 1. P. 19. DOI: 10.1007/s10291-020-01055-1.
108. Zhukov A., Yasyukevich Yu.V., Bykov A.E. Correction to: GIMLi: Global ionospheric total electron content model based on machine learning (*GPS Solutions*. 2021. Vol. 25, no. 1. P. 19) // *GPS Solutions*. 2021. Vol. 25, no. 1. P. 21. DOI: 10.1007/s10291-020-01063-1.
109. Zimovets I.V., McLaughlin J.A., Srivastava A., Kolotkov D., Kuznetsov A.A., Kupriyanova E.G., Cho I.-H., Inglis A.R., Reale F., Pascoe D.J., Tian H., Yuan D. Quasi-

periodic pulsations in solar and stellar flares: A review of underpinning physical mechanisms and their predicted observational signatures // *Space Sci. Rev.* 2021. Vol. 217, no. 5. P. 66. DOI: 10.1007/s11214-021-00840-9.

110. Zhong S., Duckenfield T., Nakariakov V.M., Anfinogentov S. Motion magnification in solar imaging data sequences in the sub-pixel regime // *Solar Phys.* 2021. Vol. 296, no. 9. P. 135. DOI: 10.1007/s11207-021-01870-w.

111. Zolotukhina N.A., Polekh N.M., Mikhalev A.V., Beletsky A.B., Podlesny S. Peculiarities of 630.0 and 557.7 nm emissions in the main ionospheric trough: March 17, 2015 // *Solar-Terr. Phys.* 2021. Vol. 7, no. 3. P. 53–67. DOI: 10.12737/szf-73202105.

112. Zolotukhina N.A., Polekh N.M., Kurkin V.I., Beletsky A.B., Oinats A.V. High-latitude atmospheric emissions during November 9, 2017 IPDP event // *Proc. SPIE.* 2021. Vol. 11916. Ст. 11916 7D. P. 109.

113. Zorkaltseva O.S., Vasilyev R.V. Stratospheric influence on the mesosphere-lower thermosphere over mid latitudes in winter observed by a Fabry-Perot interferometer // *Annales Geophysicae* . 2021. Vol. 39, no. 1. P. 267–276. DOI: 10.5194/angeo-39-267-2021.

114. Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Оценка возможного развития высокоэнергичного гамма-излучения вспышек в 23-м цикле на основе использования характеристик солнечных вспышек в 24-м цикле активности // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of the Kazakhstan. Phys.-Math. Ser.* 2021. Vol. 3, no. 337. P. 85–95. DOI: 10.32014/2020.2518-1726.50.

115. Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Характеристики потоков ускоренных протонов при развитии вспышек с продолжительным гамма-излучением // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Phys.-Math. Ser.* 2021. Vol. 4, no. 338. P. 97–106. DOI: 10.32014/2020.2518-1726.72.

5.3. Монографии и учебные издания

1. Бернгардт О.И. Введение в Большие Данные и методы машинного обучения (конспект лекций): учебно-методическое пособие. Ч. 1. Классические методы и базовые алгоритмы. Иркутск: ФБГОУ ВО «Иркутский государственный университет», 2021. 159 с.

2. Жеребцов Г.А., Shi Jiankui, Перевалова Н.П., Полех Н.М., Золотухина Н.А. Ионосферные возмущения в Восточно-Азиатском регионе. М.: ГЕОС, 2021. 338 с.

3. Климускин Д.Ю. Объяснение Вселенной: от Фалеса до Ньютона. Монография. Новосибирск: ФГБУ «Сибирское отделение Российской академии наук», 2021. 403 с.

4. Климускин Д.Ю., Сотникова Р.Т., Язев С.А. Астрономия: 10–11 классы. Учебно-методическое пособие для общеобразовательных организаций. 3-е изд., испр. и доп. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. 237 с.

5. Язев С.А., Караваева Ю.С. Иркутский транзит. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. 200 с.

5.4. РИД

1. Патент РФ на полезную модель № 202607 «Устройство для получения коротких оптических импульсов». Авторы: Кобанов Н.И., Челпанов А.А. Опубликовано 01.03.2021. Бюл. № 7. Заявитель — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук.

2. Быков А.Е., Ясюкевич Ю.В. Создание модели ионосферного полного электронного содержания на основе полносвязной искусственной нейронной сети: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021668835. Правообладатель: ИСЗФ СО РАН. Дата поступления: 15.11.2021. Дата регистрации: 22.11.2021.

3. Пенских Ю.В., Лунюшкин С.Б. Автоматическая диагностика авроральных овалов в двух полушариях Земли на основе техники инверсии магнитограмм: свидетельство о

государственной регистрации программы ЭВМ № 2021613895. 2021 (https://new.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2021613895).

4. Пономарчук С.Н., Ильин Н.В., Куркин В.И., Пензин М.С. Расчет переднего фронта сигналов возвратно-наклонного зондирования ионосферы на основе метода нормальных волн: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021617983 от 21.05.2021.

5.5. Электронные издания

1. Bergardt O.I., JMaurice.-P.St., Ruohoniemi J.M., Marchaudon A. Seasonal and diurnal dynamics of radio noise for 8–20 MHz poleward-oriented mid-latitude radars // arXiv:2107.11532. 2021. <https://arxiv.org/abs/2107.11532>.

2. Chelpanov A.A., Kobanov N.I. Using flare-induced modulation of three- and five-minute oscillations for studying wave propagation in the solar atmosphere // arXiv.org. 2021. arXiv:2110.12732v1. <https://arxiv.org/pdf/2110.12732.pdf>. DOI: 10.1007/s11207-021-01910-5.

3. Chelpanov A.A., Kobanov N.I., Chelpanov M., Kiselev A.V. Propagating oscillations in the lower atmosphere under coronal holes // arXiv.org. 2021. arXiv:2110.12672v1. <https://arxiv.org/pdf/2110.12672.pdf>. DOI: 10.1007/s11207-021-01909-y.

4. Churilov S.M., Stepanyants Y. Hydrodynamic models of astrophysical wormholes. The general concept // arXiv.org. 2021. arXiv:2105.06163. <https://arxiv.org/pdf/2105.06163.pdf>. Vol. 931, A15. DOI: 10.1017/jfm.2021.935.

5. Kashapova L.K., Kolotkov D., Kupriyanova E.G., Kudriavtseva A., Tan C., Reid H.A.S. Common origin of quasi-periodic pulsations in microwave and decimetric solar radio bursts // arXiv.org. 2021. arXiv:2110.07880v1. <https://arxiv.org/pdf/2110.07880.pdf>. Solar Phys.

6. Kochanov A.A., Morozova A., Sinegovskaya T.S., Sinegovsky S.I. High-energy spectra of the atmospheric neutrinos: predictions and measurements // arXiv.org. 2021. arXiv:2109.13000v1. <https://arxiv.org/pdf/2109.13000.pdf>.

7. Mereminskiy I.A., Dodin A.V., Lutovinov A.A., Semena A.N., Arefiev V.A., Atapin K.E., Belinski A.A., Burenin R.A., Burlak M.V., Eselevich M.V., Fedotieva A.A., Gilfanov M.R., Ikonnikova N.P., Krivonos R.A., Lapshov I.Y., Lyapin A.R., Medvedev P.S., Molkov S.V., Postnov K.A., Pshirkov M.S., Sazonov S.Yu., Shakura N., Shtykovsky A.E., Sunyaev R.A., Tatarskiy A.M., Tkachenko A., Zheltoukhov S.G. Peculiar X-ray transient SRGA J043520.9+552226/AT2019wey discovered with SRG/ART-XC // arXiv.org. 2021. arXiv:2107.05588v1. <https://arxiv.org/pdf/2107.05588.pdf>. Astron. Astrophys.

8. Rubtsov A.V., Mikhailova O.S., Mager P.N., Klimushkin D.Yu., Ren J., Zong Q. Multi-spacecraft observations of the pre-substorm long-lasting poloidal ULF wave // Geophys. Res. Lett. 2021. e2021GL096182. DOI: 10.1029/2021GL096182.

9. Stejko A.M., Kosovichev A.G., Pipin V.V. Helioseismic signatures of one- and two-cell meridional circulation // arXiv.org. 2021. arXiv:2101.0101220v1. <https://arxiv.org/pdf/2101.0101220.pdf>. Astrophys. J.

10. Thalmann J.K., Georgoulis M.K., Liu Y., Pariat E., Valori G., Anfinogentov S., Chen F., Guo Y., Moraitis K., Yang S. Magnetic helicity estimations in models and observations of the solar magnetic field. Pt. IV: Application to solar observations // arXiv.org. 2021. arXiv:2108.08525v1. <https://arxiv.org/pdf/2108.08525.pdf>. Astrophys. J.

11. Vashishth V., Karak B.B., Kitchatinov L.L. Subcritical dynamo and hysteresis in a Babcock—Leighton type kinematic dynamo model // arXiv.org. 2021. arXiv:2107.01546v1. <https://arxiv.org/pdf/2107.01546.pdf>. Res. in Astronomy and Astrophysics.

12. Wu W., Sych R.A., Chen J., Su J. Magneto-acoustic waves in magnetic twisted flux tube // arXiv.org. 2021. arXiv:2101.02921v1. <https://arxiv.org/pdf/2101.02921.pdf>.

13. Zaznobin I.A., Burenin R.A., Lutovinov A.A., Klunko E., Eselevich M.V. GRB 210619B: Sayan Observatory 1.6-m telescope observations // GRB Coordinates Network, Circular Service. 2021. No. 30343. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021GCN.30343.1Z/abstract>.

14. Zaznobin I.A., Sazonov S.Yu., Burenin R.A., Uskov G.S., Semena A.N., Gilfanov M.R., Medvedev P.S., Sunyaev R.A., Eselevich M.V. Identification of 3 cataclysmic variables detected by the ART-XC and eROSITA telescopes aboard SRG during the all-sky X-ray survey // arXiv.org. 2021. arXiv:2107.05611v1. <https://arxiv.org/pdf/2107.05611.pdf>. Astron. Astrophys.

5.6. Доклады на российских конференциях

1. Афанасьев Н.Т., Танаев А.Б., Чудаев С.О. Диагностика состояния ионосферного радиоканала по статистическим траекторным характеристикам реперного сигнала // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 441–446.

2. Боровик А.В., Жданов Д.А. Динамика магнитных полей активной области перед солнечными вспышками // Избранные проблемы астрономии: материалы V Всеросс. астрономической конф. «Небо и Земля», посв. 90-летию астрономической обсерватории ИГУ. Иркутск, 23–25 ноября 2021. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. С. 72–78.

3. Гаврилов М.Г., Угольников О.С., Язев С.А. Концепция преподавания учебного предмета «Астрономия»: история создания // Избранные проблемы астрономии: материалы V Всеросс. астрономической конф. «Небо и Земля», посв. 90-летию астрономической обсерватории ИГУ. Иркутск, 23–25 ноября 2021. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. С. 142–143.

4. Головкин А.А. Динамические явления в активной области, показавшей самую мощную вспышечную активность 24-го солнечного цикла в сентябре 2017 г. // Избранные проблемы астрономии: материалы V Всеросс. астрономической конф. «Небо и Земля», посв. 90-летию астрономической обсерватории ИГУ. Иркутск, 23–25 ноября 2021. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. С. 79–85.

5. Данильчук Е.И., Демьянов В.В. Оценка частоты девиации в спектре мерцаний фазы несущей трансionoсферных сигналов // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 654–659.

6. Едемский И.К., Ойнац А.В. Определение параметров волновых возмущений в ионосфере по данным спутников SWARM и КВ РАДАРА ЕКВ // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня - 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 176–181.

7. Егоров Я.И., Файнштейн В.Г., Просовецкий Д.В. Поиск мест на ударной волне, связанной с КВМ, в которых могут возникнуть благоприятные физические условия для генерации радиовсплесков II типа на примере события 13 июня 2010 г. // Избранные проблемы астрономии: материалы V Всеросс. астрономической конф. «Небо и Земля», посв. 90-летию астрономической обсерватории ИГУ. Иркутск, 23–25 ноября 2021. - Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. С. 85–87.

8. Жукова А.В., Хлыстова А.И., Абраменко В.И., Соколов Д.Д. Исследование антихейловских активных областей в солнечном минимуме при помощи синтетического цикла // Солнечная и солнечно-земная физика – 2021. XXV Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца. 4–8 октября 2021 г., Санкт-Петербург: труды. СПб.: ГАО РАН, 2021. С. 123–126. <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2021/>.

9. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г. Исследование магнитных свойств солнечных пятен в активных областях с взрывными процессами // Солнечная и солнечно-земная физика – 2021. XXV Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца. 4–8 октября 2021 г.,

Санкт-Петербург: труды. СПб.: ГАО РАН, 2021. С. 127–130. <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2021/>.

10. Иванова В.А., Подлесный А.В., Цедрик М.В., Рыбкина А.А., Иванов Д.В. Распространение ЛЧМ-сигналов на длинной трассе Кипр–Торы // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 447–452.

11. Исаева Е.С., Язев С.А. 25-й цикл солнечной активности: первые 20 месяцев развития // Избранные проблемы астрономии: материалы V Всеросс. астрономической конф. «Небо и Земля», посв. 90-летию астрономической обсерватории ИГУ. Иркутск, 23–25 ноября 2021. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. С. 87–93.

12. Ишин А.Б., Воейков С.В., Черемисин В.В. Ракурсные эффекты регистрации ионосферных проявлений // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 220–225.

13. Кальтман Т.И., Ступишин А., Анфиногентов С.А., Накаряков В.М., Лукичева М. Горячие струи в магнитных полях солнечных активных областей // Солнечная и солнечно-земная физика – 2021. XXV Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца. 4–8 октября 2021 г., Санкт-Петербург: труды. СПб.: ГАО РАН, 2021. С. 151–154. <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2021/>.

14. Клименко М.В., Бессараб Ф., Клименко В.В., Ратовский К.Г., Суходолов Т.В., Розанов Е.В. Роль атмосферно-ионосферных связей в формировании изменчивости ионосферы по результатам расчетов модели EAGLE // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 51–56.

15. Клименко М.В., Клименко В.В., Ратовский К.Г., Шпынев Б.Г., Черниговская М.А., Ясюкевич А.С., Ясюкевич Ю.В., Захаренкова И.Е., Коренькова Н.А. Моделирование и наблюдения среднеширотной ионосферы на различных долготах ввремя и после геомагнитной бури в марте 2015 года // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 203–207.

16. Кузьменко И.В., Гречнев В.В. Ударная волна в солнечном событии, связанном с эрупцией крупного протуберанца // Солнечная и солнечно-земная физика – 2021. XXV Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца. 4–8 октября 2021 г., Санкт-Петербург: труды. СПб.: ГАО РАН, 2021. С. 181–184. <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2021/>.

17. Коваadlo П.Г., Шиховцев А.Ю., Язев С.А. Ледники в процессах потепления климата // Избранные проблемы астрономии: материалы V Всеросс. астрономической конф. «Небо и Земля», посв. 90-летию астрономической обсерватории ИГУ. Иркутск, 23–25 ноября 2021. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. С. 131–140.

18. Куркин В.И., Полех Н.М., Золотухина Н.А. Влияние слабых магнитных бурь на характеристики распространения КВ радиоволн // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 313–320.

19. Лобанов А.В., Язев С.А. Инновационное образовательное мультимедиа пособие с методическими рекомендациями «Солнце и жизнь Земли» // Избранные проблемы астрономии: материалы V Всеросс. астрономической конф. «Небо и Земля», посв. 90-летию астрономической обсерватории ИГУ. Иркутск, 23–25 ноября 2021. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. С. 161–163.

20. Лощенко К.А., Жуков И.О., Латышев С.В. Анализ положения струйных течений и термобарических полей в период зимнего антициклогенеза над Азией // Российская цивилизация: история, проблемы, перспективы. Материалы XXIV Всеросс. молодежной научно-практ. конф. с международным участием. Иркутск, 2021. Иркутск: Издательство Отгиск, 2021. С. 283–287.

21. Лощенко К.А., Мандарханов И.Л., Латышев С.В. Исследование динамики температурного режима зимней стратосферы // Российская цивилизация: история, проблемы, перспективы. Материалы XXIV Всеросс. молодежной научно-практ. конф. с международным участием. Иркутск, 2021. Иркутск: Издательство Отгиск, 2021. С. 295–299.

22. Мыльникова А.А., Ясюкевич Ю.В., Веснин А.М. Получение неотрицательного абсолютного полного электронного содержания по данным ГНСС // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 160–165.

23. Обридко В.Н., Пипин В.В., Соколов Д.Д., Шибалова А.С., Лившиц И.М. Циклические вариации зональных гармоник солнечного магнитного поля и проблемы прогнозирования солнечной активности // Солнечная и солнечно-земная физика – 2021. XXV Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца. 4–8 октября 2021 г., Санкт-Петербург: труды. СПб.: ГАО РАН, 2021. С. 207–212. <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2021/>.

24. Ожогина О.А. Наблюдательные особенности необычного светлого образования в тени пятна NOAA 12109 в двух спектральных диапазонах // Избранные проблемы астрономии: материалы V Всеросс. астрономической конф. «Небо и Земля», посв. 90-летию астрономической обсерватории ИГУ. Иркутск, 23–25 ноября 2021. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. С. 94–100.

25. Ойнац А.В., Золотухина Н.А., Рогов Д.Д., Полех Н.М., Куркин В.И., Нишитани Н. Эффекты геомагнитных возмущений 7–11 ноября 2017 по наблюдениям на среднеширотных КВ-радарх ЕКВ и НОКЕ // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 191–196.

26. Ойнац А.В., Лебедев В.П., Алсаткин С.С., Кушнарев Д.С. Оценка поправок к координатной информации КО по данным измерений на Иркутском РНР // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 541–546.

27. Подлесный А.В., Куркин В.И., Цедрик М.В. Фазовые характеристики КВ-радиосигналов при вертикальном и слабонаклонном зондировании ионосферы // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 421–426.

28. Пономарчук С.Н., Грозов В.П., Ильин Н.В., Куркин В.И., Ойнац А.В., Пензин М.С., Подлесный А.В., Цедрик М.В. Возвратно-наклонное зондирование ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 339–345.

29. Ратовский К.Г., Дмитриев А.В., Клименко М.В., Медведева И.В. Связь экстремальных ионосферных событий с проявлениями геомагнитной и метеорологической активности // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 122–127.

30. Софьин А.В., Куркин В.И. Исследование пространственных областей влияния ПИВ на ионограммы наклонного зондирования ионосферы // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 358–362.

31. Ступишин А., Анфиногентов С.А., Шендрик А.В., Кальтман Т.И. Модернизация каталога горячих струй и перспективы его развития // Солнечная и солнечно-земная физика – 2021. XXV Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца. 4–8 октября 2021 г., Санкт-Петербург: труды. СПб.: ГАО РАН, 2021. С. 265–268. <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2021/>.

32. Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б. Автоматическая идентификация волновых структур // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 182–184.

33. Толстикова М.В., Ойнац А.В., Медведева И.В., Медведев А.В., Ратовский К.Г., Нишитани Н. Метод оценки азимута нейтрального ветра по статистике наблюдений двумерного вектора фазовой скорости внутренних гравитационных волн // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 140–145.

34. Ульянова М.М., Язев С.А. Северно-южная асимметрия комплексов активности на Солнце // Избранные проблемы астрономии: материалы V Всеросс. астрономической конф. «Небо и Земля», посв. 90-летию астрономической обсерватории ИГУ. Иркутск, 23–25 ноября 2021. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. С. 111–115.

35. Файнштейн В.Г., Егоров Я.И. Корональные выбросы массы и связанные с ними ударные волны: некоторые закономерности их формирования и движения // Избранные проблемы астрономии: материалы V Всеросс. астрономической конф. «Небо и Земля», посв. 90-летию астрономической обсерватории ИГУ. Иркутск, 23–25 ноября 2021. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. С. 116–121.

36. Цедрик М.В., Подлесный А.В. Использование антенн бегущей волны для приема сигналов наклонного зондирования ионосферы // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 368–372.

37. Черемисин В.В., Воейков С.В., Ишин А.Б. Уточнение определения скорости в методе SADM-GPS // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 666–671.

38. Черниговская М.А., Шпынев Б.Г., Ясюкевич А.С., Хабитуев Д.С., Ратовский К.Г., Белинская А.Ю., Степанов А.Е., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А., Коуба Д., Мелич Й. Реакция среднеширотной ионосферы северного полушария на геомагнитную бурю в октябре 2016 г. // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 307–312.

39. Шобогоева Е.В., Латышев С.В. Климатический режим высокогорных районов Восточных Саян // Российская цивилизация: история, проблемы, перспективы. Материалы XXIV Всеросс. молодежной научно-практ. конф. с международным участием. Иркутск, 2021. Иркутск: Издательство Отгиск, 2021. С. 316–320.

40. Язев С.А. Солнечный телескоп Астрономической обсерватории ИГУ: краткая история // Избранные проблемы астрономии: материалы V Всеросс. астрономической

конф. «Небо и Земля», посв. 90-летию астрономической обсерватории ИГУ. Иркутск, 23–25 ноября 2021. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. С. 63–70.

41. Ясюкевич А.С. Свойства короткопериодной возмущенности полного электронного содержания на средних и высоких широтах // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 128–133.

42. Ясюкевич Ю.В., Затолокин Д.А., Ясюкевич А.С., Веснин А.М. Точность моделирования ионосферы с точки зрения полного электронного содержания и одночастотного GPS позиционирования // Распространение радиоволн. Труды XXVII Всеросс. открытой научной конф. 28 июня – 3 июля 2021 г., Калининград: научное электронное издание. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. С. 660–665.

5.7. Доклады на международных, в том числе зарубежных конференциях

1. Lukovnikova A.A. Cosmic ray variations in November, 2012 // 37th Intern. Cosmic Ray Conference (ICRC 2021). July 12–23, 2021, Berlin, Germany: online. 2021. <https://icrc2021.desy.de/proceedings/>.

2. Molchanova N.O., Poletaev A.S., Vasiliev R.V., Chensky A.G. Review of atmospheric effects associated with lightning discharges // Science Present and Future: Research Landscape in the 21st Century. Материалы научно-практической конференции с междунар. участием. Иркутск, ИНЦ СО РАН, 19 мая 2021 г. Иркутск, 2021. С. 34–38. <https://isc.irk.ru/ru/science/conferences>.

3. Rubtsov A.V., Mikhailova O.S., Klimushkin D., Zong Q.G. Pre-substorm ULF waves observed by multiple spacecrafts // Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century. Материалы научно-практической конференции с междунар. участием. Иркутск, ИНЦ СО РАН, 19 мая 2021 г. Иркутск, 2021. С. 29–30. <https://isc.irk.ru/ru/science/conferences>.

4. Rybkina A.A., Kurkin V.I., Ivanova V.A. Diagnostics and investigation of the morphological characteristics of travelling ionospheric disturbances based on the data of near-vertical and vertical sounding of the ionosphere in December 2012 – January 2013 // Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century. Материалы научно-практической конференции с междунар. участием. Иркутск, ИНЦ СО РАН, 19 мая 2021 г. Иркутск, 2021. С. 39–40. <https://isc.irk.ru/ru/science/conferences>.

5. Yakovleva I.P., Tashchilin M. A. Aerosol optical depth spectral characteristics under exposure to forest fire smoke in the Baikal region // Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century. Материалы научно-практической конференции с междунар. участием. Иркутск, ИНЦ СО РАН, 19 мая 2021 г. Иркутск, 2021. С. 31–34. <https://isc.irk.ru/ru/science/conferences>.

6. Артамонов М.Ф., Васильев Р.В., Кириченко К.Е., Саункин А.В. Сезонно-суточная динамика параметров нейтральной атмосферы Земли в Тункинской котловине // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E269–E273. - <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

7. Афанасьев Н.Т., Ким Д.Г., Танаев А.Б., Чудаев С.О. Математическое моделирование частотных флуктуаций радиосигнала в верхней атмосфере // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E58–E61. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

8. Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Подлесный С.В., Ташилин М.А., Васильев Р.В., Татарников А.В. Методика оценки прозрачности атмосферы в темное время суток по данным широкоугольных оптических систем // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмо-

сферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. F93–F95. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

9. Большасова Л.А., Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Лукин В.П. Статистика высотного распределения скорости ветра над специальной астрофизической обсерваторией // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. B202–B205. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

10. Васильев Р.В., Артамонов М.Ф., Белецкий А.Б., Медведева И.В., Подлесный С.В., Сыренова Т.Е., Ткачев И.Д., Медведев А.В. Оптические инструменты Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. P9–P12. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

11. Вологжина С.Ж., Латышева И.В., Латышев С.В., Лощенко К.А. Современные особенности ветрового режима вблизи тропопаузы в южных районах Иркутской области // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. D165–D168. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

12. Данилова О.А., Птицына Н.Г., Тясто М.И., Сдобнов В.Е. Контроль жесткости обрезания космических лучей параметрами магнитосферы и солнечного ветра во время сильной магнитной бури в начале сентября 2017 г. // 44-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». Апатиты, 15–19 марта 2021 г.: доклады. Апатиты, 2021. С. . <http://pgia.ru/seminar/>.

13. Данильчук Е.И., Демьянов В.В. Оценка частоты девиации в спектре мерцаний фазы с помощью аналитической модели // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конференция, посвященная памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: материалы. Иркутск, 2021. С. 247–253. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46553813>.

14. Добрынин В.А., Сорокин А.Г. Об инфразвуковой станции нового поколения ИСЗФ СО РАН // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. D432–D435. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

15. Добчинова А.Ц., Латышева И.В., Латышев С.В., Лощенко К.А. Оценка вариаций температурного режима Иркутской области в разные периоды солнечной активности // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конференция, посвященная памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: материалы. Иркутск, 2021. С. 123–129. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46553767>.

16. Домбровская Н.С., Мордвинов В.И., Зоркальцева О.С. Анализ собственных низкочастотных колебаний в стратомезосфере // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E129–E132. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

17. Домбровская Н.С., Мордвинов В.И., Зоркальцева О.С. Вертикальная структура низкочастотных колебаний стратомезосферы // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конференция, посвященная памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: материалы. Иркутск, 2021. С. 261–269. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46553840>.

18. Золотухина Н.А., Полех Н.М., Куркин В.И., Белецкий А.Б., Ойнац А.В. Высокоширотные атмосферные эмиссии во время IPDP 9 ноября 2017 г. // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E265–E268. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

19. Иванова В.А., Подлесный А.В., Рыбкина А.А., Поддельский А.И. Волновое ионосферное возмущение, зарегистрированное во время магнитной бури 20 апреля 2018 г. // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9

июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E282-E285. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

20. Иванова В.А., Цедрик М.В., Подлесный А.В., Поддельский А.И. Связь между амплитудными и частотными характеристиками КВ-радиосигналов на фоне рентгеновских солнечных вспышек // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E289–E292. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

21. Ишин А.Б., Воейков С.В., Ишина Т. Анизотропия ионосферных эффектов землетрясения в Новой Зеландии 13 ноября 2016 г. // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E166–E169. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

22. Караханян А.А., Молодых С.И. Влияние атмосферной циркуляции на климатические изменения в спокойных условиях и в периоды геомагнитных возмущений // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E215–E218. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

23. Киселев А.В., Ковадло П.Г., Колобов Д.Ю., Русских И.В., Шиховцев А.Ю. Исследование искажений волновых фронтов, формируемых на разных высотах в атмосфере // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. B99-B102. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

24. Ключилов А.В., Ишин А.Б., Воейков С.В. Отклик ионосферы на запуск FALCON HEAVY по данным наземных приемников ГНСС // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E170–E173. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

25. Кушнарченко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Дневная электронная плотность на высотах слоя F1 во время геомагнитных возмущений на ст. Иркутск // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E30–E33. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

26. Латышева И.В., Вологжина С.Ж., Латышев С.В., Лощенко К.А., Мельников Б.В. Исследование динамики климата в районе высокогорной станции Монды // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. D182–D185. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

27. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Исследование эффектов зимних внезапных стратосферных потеплений по наблюдениям на средних и высоких широтах // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E239–E242. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

28. Медведева И.В., Ратовский К.Г., Толстиков М.В., Хабитуев Д.С. Сравнительный анализ проявления активности короткопериодных атмосферных волн в различных областях атмосферы Земли // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E274–E277. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

29. Молодых С.И., Караханян А.А., Кириченко К.Е. Влияние солнечной активности на циркуляцию атмосферы и поверхностные течения в океане // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E235–E238. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

30. Молчанова Н.О., Полетаев А.С., Васильев Р.В., Ченский А.Г. Разработка аппаратного комплекса для мониторинга опасных явлений погоды на территории Байкальского региона // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы».

ры». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. F100–F104. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

31. Молчанова Н.О., Полетаев А.С., Васильев Р.В., Ченский А.Г. Обзор атмосферных эффектов, связанных с грозовыми разрядами // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конференция, посвященная памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: материалы. Иркутск, 2021. С. 281–286. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46553778>.

32. Обридко В.Н., Соколов Д.Д., Пипин В.В., Шибалова А.С. Medium-term oscillations of the solar activity // 44-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». Апатиты, 15–19 марта 2021 г.: доклады. Апатиты, 2021. С. <http://pgia.ru/seminar/>.

33. Пархомов В.А., Еселевич В.Г., Еселевич М.В., Цэгмед Б., Хомутов С.Ю., Рахматулин Р.А., Райта Т., Мочалов А.А., Пильгаев С.В. Глобальная изолированная суббуря, вызванная диамагнитной структурой медленного солнечного ветра 22.12.2015 // 44-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». Апатиты, 15–19 марта 2021 г.: доклады. Апатиты, 2021. С. <http://pgia.ru/seminar/>.

34. Подгорный А.И., Подгорный И.М., Борисенко А.В., Мешалкина Н.С. Choice of conditions for MHD simulations above the active region, allowing the study of the solar flare mechanism // 44-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». Апатиты, 15–19 марта 2021 г.: доклады. - Апатиты, 2021. С. <http://pgia.ru/seminar/>.

35. Подлесный С.В., Зоркальцева О.С., Васильев Р.В. Сопоставление интенсивности свечения атомарного кислорода на длине волны 557.7 нм и зеленого канала цветной ПЗС камеры // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E286–E288. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

36. Подлесный С.В., Зоркальцева О.С., Васильев Р.В. Сопоставление интенсивности свечения атомарного кислорода на длине волны 557,7 нм и зеленого канала цветной ПЗС-камеры // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конференция, посвященная памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: материалы. Иркутск, 2021. С. 307–309. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46553835>.

37. Пономарчук С.Н., Грозов В.П., Котович Г.В., Куркин В.И., Ойнац А.В., Подлесный А.В. Определение параметров ионосферы по данным зондирования непрерывным ЛЧМ – сигналом // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E247–E251. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

38. Саункин А.В., Васильев Р.В., Зоркальцева О.С. Интенсивность свечения атомарного кислорода 557.7 нм по спутниковым и наземным наблюдениям над Восточной Сибирью // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E174–E179. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

39. Саункин А.В., Васильев Р.В., Зоркальцева О.С. Интенсивность свечения атомарного кислорода 557.7 нм по спутниковым и наземным наблюдениям над Восточной Сибирью // Междунар. симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД–2021). Санкт-Петербург, 29 июня – 02 июля 2021 г.: сб. трудов. Санкт-Петербург : ООО «Издательство ВВМ», 2021. С. 194–201.

40. Серебенникова С.А., Ясюкевич Ю.В., Веснин А.М., Киселев А.В. Оценка границ локализации возмущений высокоширотной ионосферы по данным GPS/ГЛОНАСС // 44-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». Апатиты, 15–19 марта 2021 г.: доклады. Апатиты, 2021. С. <http://pgia.ru/seminar/>.

41. Тащилин А.В., Леонович Л.А. Оценка вариаций параметров термосферы в ходе магнитной бури по данным спутниковых измерений плотности термосферы // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021

г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. E227–E230. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

42. Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Белоусова Е.П. Кластерный анализ молниевых рядов по данным грозопеленгационной сети «ВЕРЕЯ-МР» для Байкальской природной территории // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. F105–F109. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

43. Чудаев С.О., Афанасьев Н.Т., Ким Д.Б., Танаев А.Б. Прямая диагностика характеристик сигнала, прошедшего сквозь слой хаотической среды // Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения (DYSC 2021). 3-я Междунар. конференция. Иркутск, 13–17 сентября 2021 г.: материалы. Иркутск, 2021. С. 188–191. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46491454>.

44. Шиховцев А.Ю., Zhang L., Ran X., Rao S., Киселев А.В., Ковадло П.Г., Колобов Д.Ю., Русских И.В. Сравнительный анализ оптической турбулентности в солнечной обсерватории озера Фуцзянь и Байкальской астрофизической обсерватории // XXVII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: труды. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. B95–B98. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

5.8. Тезисы докладов на российских конференциях

1. Алтынцев А.Т., Мышьяков И.И., Мешалкина Н.С., Федотова А.Ю. Квазистационарный нагрев и микровспышки в развивающейся изолированной активной области // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 58. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

2. Алтынцев А.Т., Мешалкина Н.С., Флейшман Г.Д., Лысенко А.Л. Ускорение электронов во вспышках: микроволновое картографирование // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 71. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

3. Алтынцев А.Т., Жданов Д.А., Мешалкина Н.С., Мышьяков И.И., Reid H.A.S. О связи микроволнового излучения и метровых всплесков III типа в слабых транзиентных событиях // ВАК-2021. Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием. Москва, ГАИШ им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова, 23–28 августа 2021 г.: сб. тез. докл. М., 2021. С. 341. <https://www.vak2021.ru/>.

4. Анфиногентов С.А. Определение плотности и температуры корональных петель методом Байесовского анализа по данным SDO/AIA // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 18. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

5. Anfinogentov S., Kuzanyan K.M., Yang S. Slow MHD waves above sunspots as a proxy of magnetic helicity // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 33. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

6. Анфиногентов С.А. Наблюдения корональных струй в микроволновом диапазоне // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 22. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

7. Анфиногентов С.А. Синтез радиоизображений Солнца по данным Сибирского радиогелиографа методом самокалибровки // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31

августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. Научный: ФГБУН «КРАО РАН», 2021. С. 23. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

8. Афанасьев Н.Т., Танаев А.Б., Чудаев С.О. Прямая диагностика траекторных характеристик радиосигнала, отраженного от случайнеоднородной ионосферы // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 183. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

9. Боровик А.В., Жданов А.А. Малые солнечные вспышки и динамика магнитных полей // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 31. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

10. Бородкова Н.Л., Сапунова О.В., Еселевич В.Г., Застенкер Г.Н., Ермолаев Ю.И. Анализ поведения потока ионов солнечного ветра в области овершута межпланетной ударной волны // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 88. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

11. Васильев Р.В., Ойнац А.В., Калашников Ю.В. Вариативность параметров атмосфериков от ближних гроз, регистрируемых в приполярной области во время геомагнитных возмущений // 44-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». Апатиты, 15–19 марта 2021 г.: тез. докл. Апатиты, 2021. С. 20. <http://pgia.ru/seminar/>.

12. Васильев Р.В., Артамонов М.Ф., Белецкий А.Б., Зоркальцева О.С., Медведева И.В., Подлесный С.В., Сыренова Т.Е., Ткачев И.Д., Медведев А.В. Оптические инструменты национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук // Всеросс. конф. с междунар. участием «Собственное излучение, структура и динамика средней и верхней атмосферы», посв. памяти А.И. Семенова и Н.Н. Шефова. Москва, 22–23 ноября 2021 г.: сб. тез. докл. М.: Физматкнига, 2021. С. 15. http://ifaran.ru/science/conferences/Conf_2021/Theses.pdf.

13. Головкин А.А., Салахутдинова И.И. Особенности эволюции магнитного поля и лучевых скоростей в активной области №12673 // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 26. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

14. Demidov M.L. Large-scale solar magnetic fields from observations in the visible and infrared spectral lines and some space weather issues // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 11. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

15. Демьянов В.В., Ясюкевич Ю.В., Sergeeva M.A., Данильчук Е.И. Эффективность индексов ионосферных мерцаний в зависимости от частоты регистрации измерений и типа приемника сигналов навигационных спутников // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 170. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

16. Егоров Я.И. Поиск мест на ударной волне, связанной с КВМ, в которых могут возникнуть благоприятные физические условия для генерации радиовсплесков II типа на примере события 13 июня 2010 // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 42. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

17. Жданов Д.А. Первые наблюдения микроволновой тонкой структуры спектра на Сибирском радиогелиографе 3-6 ГГц // ВАК-2021. Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием. Москва, ГАИШ им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова, 23–28 августа 2021 г.: сб. тез. докл. М., 2021. С. 353. <https://www.vak2021.ru/>.

18. Жукова А.В., Хлыстова А.И., Абраменко В.И., Соколов Д.Д. Статистические исследования количества и площадей анти – хейловских активных областей в период с 1989 по 2019 г. // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 16. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.
19. Жукова А.В., Соколов Д.Д., Абраменко В.И., Хлыстова А.И. Циклические вариации активных областей разных магнито-морфологических классов в 23-м и 24-м циклах // ВАК-2021. Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием. Москва, ГАИШ им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова, 23–28 августа 2021 г.: сб. тез. докл. М., 2021. С. 354. <https://www.vak2021.ru/>.
20. Жукова А.В., Хлыстова А.И., Абраменко В.И., Соколов Д.Д. Анализ широтно-временной зависимости анти-Хейловских активных областей на основе синтетического цикла // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 43. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.
21. Жукова А.В., Хлыстова А.И., Абраменко В.И., Соколов Д.Д. Исследование анти-Хейловских активных областей в солнечном минимуме при помощи синтетического цикла // Солнечная и солнечно-земная физика – 2021. XXV Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца. 4–8 октября 2021 г., Санкт-Петербург: сб. тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2021. С. 35. <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2021/>.
22. Завершинский Д.И., Колотков Д.Ю., Молевич Н.Е., Рящиков Д.С., Белов С.А. Распределение энергии между энтропийными и медленными магнитоакустическими волнами в плазме с тепловым дисбалансом // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 251. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.
23. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г. Влияние взрывных процессов на Солнце на магнитные свойства тени солнечных пятен / Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 23. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.
24. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г. Исследование магнитных свойств солнечных пятен в активных областях с взрывными процессами // Солнечная и солнечно-земная физика – 2021. XXV Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца. 4–8 октября 2021 г., Санкт-Петербург: сб. тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2021. С. 36. <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2021/>.
25. Илларионов Е.А., Тлатов А.Г., Жукова А.В., Абраменко В.И., Соколов Д.Д., Хлыстова А.И. Параметризация групп солнечных пятен методами машинного обучения // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. Научный: ФГБУН «КРАО РАН», 2021. С. 45. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.
26. Кальтман Т.И., Накаряков В.М., Ступишин А., Анфиногентов С.А., Лукичева М. Разработка диагностики плазменных струй в короне Солнца // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 27. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.
27. Кальтман Т.И., Ступишин А., Анфиногентов С.А., Накаряков В.М., Лукичева М. Горячие струи в магнитных полях солнечных активных областей // Солнечная и солнечно-земная физика – 2021. XXV Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца. 4–8 октября 2021 г., Санкт-Петербург: сб. тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2021. С. 40. <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2021/>.
28. Караханян А.А., Молодых С.И. Долговременные вариации уходящей длинноволновой радиации в периоды геомагнитных возмущений // Шестнадцатая ежегодная

конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 215. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

29. Караханян А.А., Молодых С.И. Пространственное распределение электрического ионосферного потенциала при разном уровне солнечной активности // Всеросс. конф. с междунар. участием «Собственное излучение, структура и динамика средней и верхней атмосферы», посв. памяти А.И. Семенова и Н.Н. Шефова. Москва, 22–23 ноября 2021 г.: сб. тез. докл. М.: Физматкнига, 2021. С. 26. http://ifaran.ru/science/conferences/Conf_2021/Theses.pdf.

30. Кашапова Л.К., Брумол А.М., Ларионова А.И., Куприянова Е.Г., Мотык И.Д. Динамика процессов охлаждения плазмы во время фазы спада солнечной вспышки по наблюдениям нижних слоев солнечной атмосферы // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 59. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

31. Кашапова Л.К., Куприянова Е.Г., Колотков Д.Ю., Рид Х.А.С., Кудрявцева А.В., Тан Ч., Жанг Х. О связи микроволновых источников солнечных вспышек и всплесков в дециметровом и метровом радиодиапазонах // Солнечная и солнечно-земная физика – 2021. XXV Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца. 4–8 октября 2021 г., Санкт-Петербург: сб. тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2021. С. 44. <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2021/>.

32. Кашапова Л.К., Жданов Д.А. Эволюция процессов энерговыделения во время залимбовой вспышки 29 мая 2020 года по данным микроволнового излучения // ВАК-2021. Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием. Москва, ГАИШ им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова, 23–28 августа 2021 г.: сб. тез. докл. М., 2021. С. 355. <https://www.vak2021.ru/>.

33. Кичатинов Л.Л. Проблема солнечного и звездного динамо // ВАК-2021. Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием. Москва, ГАИШ им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова, 23–28 августа 2021 г.: сб. тез. докл. М., 2021. С.19. <https://www.vak2021.ru/>.

34. Клименко М.В., Клименко В.В., Ратовский К.Г., Ясюкевич А.С., Ясюкевич Ю.В., Бессараб Ф. Морфология и механизмы формирования ионосферных эффектов после действия геомагнитных бурь // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 168. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

35. Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю., Лукин В.П. Развитие метода определения характеристик атмосферной турбулентности на разных высотах: многообъектный подход в адаптивной оптике // XXVIII рабочая группа «Аэрозоли Сибири». 23–26 ноября 2021 г., Томск: тез. докл. 2021. С. 78. <https://symp.iao.ru/ru/sa/28/i1>.

36. Когогин Д.А., Насыров И.А., Шиндин А.В., Грач С.М., Максимов Д.С., Загреддинов Р.В., Белецкий А.Б. Использование совместного анализа снимков ночного неба и карт вариаций ПЭС для исследования пространственновременной динамики области ионосферы, возмущенной мощным радиоизлучением стенда СУРА // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 180. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

37. Колотков Д.Ю., Накаряков В.М., Дакенфилд Т. Диагностика свойств функции нагрева короны Солнца с помощью нового сейсмологического метода // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 30. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

38. Косовичев А.Г., Гетлинг А.В., Пипин В.В. Гелиосейсмологические наблюдения процессов солнечного динамо // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 20. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

39. Коробцев И.В., Мишина М.Н., Горяшин В.Е., Еселевич М.В., Цуккер Т.Г. Оптические наблюдения разрушений КО в Саянской солнечной обсерватории // Отраслевая научно-практ. конф. «Космонавтика XXI века», посв. 75-летию создания ракетно-космической отрасли и 75-летию со дня образования НИИ-88/ЦНИИмаш. 12–14 мая 2021 г., Москва, АО «ЦНИИмаш»: программа. М., 2021. <https://tsniimash.ru/science/otraslevaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-kosmonavtika-xxi-veka1/>.
40. Кудрявцева А.В., Просовецкий Д.В. Мелкомасштабные неоднородности в солнечном ветре: наблюдения, характеристики, источники // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 91. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.
41. Кузин С.В. Солнечный ВУФ телескоп для наноспутника для мониторинга космической погоды // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 54. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.
42. Кузнецов А.А., Флейшман Г.Д., Landi E. Радиоизлучение многокомпонентной мультитемпературной плазмы в атмосфере Солнца // ВАК-2021. Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием. Москва, ГАИШ им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова, 23–28 августа 2021 г.: сб. тез. докл. М., 2021. С. 358. <https://www.vak2021.ru/>.
43. Кузнецов А.А., Каракотов Р.Р., Chandrashekhar K., Banerjee D. Звездная активность в системе AT Mic по данным многоволновых наблюдений обсерватории AstroSat // ВАК-2021. Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием. Москва, ГАИШ им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова, 23–28 августа 2021 г.: сб. тез. докл. М., 2021. С. 149. <https://www.vak2021.ru/>.
44. Кузнецов А.А., Каракотов Р.Р., Chandrashekhar K., Banerjee D. Звездная активность в системе AT MIC по данным ASTROSAT // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 56. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.
45. Кузьменко И.В., Гречнев В.В. Ударная волна в солнечном событии, связанном с эрупцией крупного протуберанца // Солнечная и солнечно-земная физика – 2021. XXV Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца. 4–8 октября 2021 г., Санкт-Петербург: сб. тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2021. С. 51. <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2021/>.
46. Куприянова Е.Г., Кальтман Т.И., Накаряков В.М., Колотков Д.Ю., Кузнецов А.А. Отклик микроволнового излучения на радиальную БМЗ волну в плазменном слое, частично заполненном ускоренными электронами // Солнечная и солнечно-земная физика – 2021. XXV Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца. 4–8 октября 2021 г., Санкт-Петербург: сб. тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2021. С. 52. <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2021/>.
47. Куприянова Е.Г., Колотков Д.Ю., Кашапова Л.К., Кудрявцева А.В., Тан Ч., Рид Х.А.С. О природе КПП в слабой солнечной вспышке по данным радиогелиографов нового поколения // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 54. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.
48. Куприянова Е.Г., Кашапова Л.К., Reid H.A.S., Zhang J. Микроволновый источник радиовсплесков III типа по данным SRG и LOFAR // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 56. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.
49. Куприянова Е.Г., Кальтман Т.И., Накаряков В.М., Колотков Д.Ю., Кузнецов А.А. Влияние ширины области ускоренных электронов на микроволновое излучение возмущенного радиальной БМЗ-волной в плазменном слое // Всеросс. астрономическая конф.

с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 57. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

50. Купряков Ю.А., Горшков А.Б., Кашапова Л.К. Спектры пульсаций солнечных вспышек // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 58. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

51. Лебедев В.П., Кушнарв Д.С., Невидимов Н.И., Сетов А.Г. Результаты радиолокационных наблюдений космических объектов на Иркутском радаре некогерентного рассеяния в 2018-2020 г. // Отраслевая научно-практ. конф. «Космонавтика XXI века», посв. 75-летию создания ракетно-космической отрасли и 75-летию со дня образования НИИ-88/ЦНИИмаш. 12–14 мая 2021 г., Москва, АО «ЦНИИмаш»: программа. М., 2021. <https://tsniimash.ru/science/otraslevaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-kosmonavtika-xxi-vekal/>.

52. Лесовой С.В., Алтынцев А.Т., Губин А.В. Сибирский радиогелиограф: новые возможности исследования солнечной короны // ВАК-2021. Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием. Москва, ГАИШ им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова, 23–28 августа 2021 г.: сб. тез. докл. М., 2021. С. 33. <https://www.vak2021.ru/>.

53. Лысенко А.Л., Алтынцев А.Т., Жданов Д.А. Статистическое исследование «холодных» солнечных вспышек в микроволновом диапазоне // ВАК-2021. Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием. Москва, ГАИШ им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова, 23–28 августа 2021 г.: сб. тез. докл. М., 2021. С. 364. <https://www.vak2021.ru/>.

54. Луковникова А.А. Анализ Форбуш - эффектов в июле - сентябре 2012 г. // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 95. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

55. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Исследование атмосферной и ионосферной изменчивости в периоды действия зимних внезапных стратосферных потеплений // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 219. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

56. Медведева И.В. Спектрометрические исследования температурного режима верхней атмосферы Земли в Восточной Сибири // Всеросс. конф. с междунар. участием «Собственное излучение, структура и динамика средней и верхней атмосферы», посв. памяти А.И. Семенова и Н.Н. Шефова. Москва, 22–23 ноября 2021 г.: сб. тез. докл. М.: Физматкнига, 2021. С. 34. http://ifaran.ru/science/conferences/Conf_2021/Theses.pdf.

57. Мешалкина Н.С., Алтынцев А.Т., Сыч Р.А. Природа квазипериодических колебаний с очень короткими периодами (1.5 – 8 сек) в круговой ленточной вспышке 6 августа 2002 г. // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

58. Михайлова О.С., Климушкин Д.Ю., Магер П.Н. Пространственная структура ионно-ионных гибридных УНЧ-волн в магнитосферной плазме, обогащенной тяжелыми ионами // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 232. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

59. Михалев А.В. Долгоживущие метеорные следы, сформированные при радиальном расширении крупных метеороидов // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 226. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

60. Михалев А.В. Исследование собственного излучения среднеширотной верхней атмосферы Земли в ИСЗФ СО РАН // Всеросс. конф. с междунар. участием «Собственное излучение, структура и динамика средней и верхней атмосферы», посв. памяти А.И. Семенова и Н.Н. Шефова. Москва, 22–23 ноября 2021 г.: сб. тез. докл. М.: Физматкнига, 2021. С. 35. http://ifaran.ru/science/conferences/Conf_2021/Theses.pdf.

61. Мордвинов А.В., Карак Б.Б., Голубева Е.М., Хлыстова А.И., Жукова А.В. Многократные обращения полярных магнитных полей Солнца и их физические причины // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 65. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

62. Мотык И.Д. Процессы охлаждения на фазе спада солнечных и звездных вспышек // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. Научный: ФГБУН «КРАО РАН», 2021. С. 66. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

63. Обридко В.Н., Пипин В.В., Соколов Д.Д., Шибалова А.С., Лившиц И.М. Зональные гармоника солнечного магнитного поля как индексы при прогнозировании солнечной цикличности // Солнечная и солнечно-земная физика – 2021. XXV Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца. 4–8 октября 2021 г., Санкт-Петербург: сб. тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2021. С. 62. <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2021/>.

64. Обридко В.Н., Пипин В.В., Соколов Д.Д., Шибалова А.С. Проявление цикличности в процессах солнечного динамо и вариации солнечной активности промежуточного масштаба // ВАК-2021. Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием. Москва, ГАИШ им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова, 23–28 августа 2021 г.: сб. тез. докл. М., 2021. С. 371. <https://www.vak2021.ru/>.

65. Обридко В.Н., Соколов Д.Д., Пипин В.В., Шибалова А.С. Среднесрочные колебания солнечной активности // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 68. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

66. Падохин А.М., Мыльникова А.А., Морозов Ю.В., Ясюкевич Ю.В. Анализ шумов оценки GNSS TEC с использованием новых навигационных сигналов // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 171. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

67. Пархомов В.А., Еселевич В.Г., Еселевич М.В., Цэгмед Б., Яхнин А.Г., Хомутов С.Ю., Рахматулин Р.А., Райта Т. Глобальный сценарий в геомагнитных пульсациях изолированной суббури, генерированной диамагнитной структурой медленного солнечного ветра 22.12.2015 // 44-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». Апатиты, 15–19 марта 2021 г.: тез. докл. Апатиты, 2021. С. 22. <http://pgia.ru/seminar/>.

68. Пархомов В.А., Еселевич В.Г., Еселевич М.В., Дмитриев А.В., Суворова А.В., Хомутов С.Ю., Цэгмед Б., Райта Т. Магнитосферный отклик на взаимодействие с диамагнитной структурой // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 269. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

69. Перевалова Н.П., Едемский И.К. Ионосферные возмущения, зарегистрированные в период повышенной сейсмической активности в районе озера Хубсугул // Всеросс. конф. с междунар. участием «Собственное излучение, структура и динамика средней и верхней атмосферы», посв. памяти А.И. Семенова и Н.Н. Шефова. Москва, 22–23 ноября 2021 г.: сб. тез. докл. М.: Физматкнига, 2021. С. 42. http://ifaran.ru/science/conferences/Conf_2021/Theses.pdf.

70. Пипин В.В. Вариации параметров динамо цикла в зависимости от периода вращения Солнца // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной си-

стеме». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 15. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

71. Подгорный А.И., Подгорный И.М., Борисенко А.В., Мешалкина Н.С. Условия и параметры МГД моделирования в солнечной короне в реальном масштабе времени для изучения механизма солнечной вспышки // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 214. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

72. Подгорный А.И., Подгорный И.М., Борисенко А.В., Мешалкина Н.С. Выбор параметров и появление вспышечной ситуации при МГД моделировании над активной областью в реальном масштабе времени // ВАК-2021. Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием. Москва, ГАИШ им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова, 23–28 августа 2021 г.: сб. тез. докл. М., 2021. С. 373. <https://www.vak2021.ru/>.

73. Попов А.А., Гаврилов Н.М., Перминов В.И., Перцев Н.Н., Медведева И.В., Аммосов П.П., Гаврильева Г.А., Колтовский И.И. Климатология когерентных мезомасштабных возмущений вращательной температуры и гидроксила на российских станциях // Всеросс. конф. с междунар. участием «Собственное излучение, структура и динамика средней и верхней атмосферы», посв. памяти А.И. Семенова и Н.Н. Шефова. Москва, 22–23 ноября 2021 г.: сб. тез. докл. М.: Физматкнига, 2021. С. 46. http://ifaran.ru/science/conferences/Conf_2021/Theses.pdf.

74. Потапов А.С. Эволюция кинетических магнитных дыр в процессе переноса солнечным ветром // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 100. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

75. Потапов А.С., Полюшкина Т.Н. Метод оценки электронной плотности в области F2 ионосферы без радиозондирования // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 196. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

76. Потапов А.С., Полюшкина Т.Н. Ионосферный альфвеновский резонатор: три типа модуляции частоты // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 197. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

77. Потравнов И.С., Шаховской Д.Н., Артеменко С.А., Серебрякова Н.А., Клунко Е.В. ВР PSC: активная звезда типа Т Тельца на экстремально высокой галактической широте // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 73. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

78. Рубцов А.В., Михайлова О.С., Климушкин Д.Ю. Глобальное наблюдение пологих РС4-5 волн в магнитосфере, вызванных суббурей // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 234. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

79. Рящиков Д.С., Колотков Д.Ю., Молевич Н.Е., Завершинский Д.И., Белов С.А. МГД-волны в плазме с тепловым дисбалансом как инструмент корональной сейсмологии // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С.77. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

80. Смольков Г.Я., Баркин Ю.В., Баркин М.Ю. Гравитационные взаимодействия небесных тел гелиосферы // Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ. Всеросс. совещание, посв. памяти профессора С. И. Шермана. Иркутск, 26–30 апреля 2021 г.: тез. докл. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. С. 220–221.

81. Соколов Д.Д., Жукова А.В., Абраменко В.И., Хлыстова А.И. Синтетическая широтно-временная диаграмма для групп солнечных пятен, нарушающих правило полярно-

сти Хейла, и работа мелкомасштабного динамо на Солнце // ВАК-2021. Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием. Москва, ГАИШ им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова, 23–28 августа 2021 г.: сб. тез. докл. М., 2021. С. 377. <https://www.vak2021.ru/>.

82. Ступишин А., Анфиногентов С.А., Шендрик А.В., Кальтман Т.И. Модернизация каталога горячих струй и перспективы его развития // Солнечная и солнечно-земная физика – 2021. XXV Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца. 4–8 октября 2021 г., Санкт-Петербург: сб. тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2021. С. 82. <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2021/>.

83. Сыч Р.А., Jess D. Пространственная структура резонансных полостей в атмосфере солнечных пятен // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 83. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

84. Феденев В.В., Анфиногентов С.А., Флейшман Г.Д. Статистический анализ сильнейших магнитных полей в короне Солнца за 1999–2017 годы // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 89. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

85. Флейшман Г.Д., Анфиногентов С.А., Ступишин А., Кузнецов А.А., Nita G.M. Проблема нагрева солнечной короны и микроволновое циклотронное излучение // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 31. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

86. Флейшман Г.Д., Кузнецов А.А., Landi E. Радиоизлучение многокомпонентной мультитемпературной плазмы // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 300. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

87. Челпанов А.А., Кобанов Н.И. Распространяющиеся колебания в нижней атмосфере корональных дыр // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 93. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

88. Шамсутдинова Ю.Н., Кашапова Л.К. ВЕБ-приложение для исследования связи микроволновых источников и событий в метровом диапазоне // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 96. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

89. Шамсутдинова Ю.Н., Кашапова Л.К. Визуализация динамических спектров в метровом диапазоне для Интернет-ресурсов космической погоды // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 293. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

90. Шарыкин И.Н., Зимовец И.В., Мешалкина Н.С. Исследование прекурсоров эруптивной солнечной вспышки X4.9 GOES класса, произошедшей 25 февраля 2014 г.: формирование эруптивного жгута, нагрев и течения плазмы, начало вспышки // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.

91. Шибалова А.С., Соколов Д.Д., Обридко В.Н., Пипин В.В. Форма солнечных циклов и среднесрочные колебания солнечной активности // Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 8–12 февраля 2021 г. Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 9. <https://plasma2021.cosmos.ru/>.

92. Язев С.А., Томозов В.М., Исаева Е.С. Комплексы активности на Солнце в 24 цикле солнечной активности // ВАК-2021. Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием. Москва, ГАИШ им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова, 23–28 августа 2021 г.: сб. тез. докл. М., 2021. С. 385. <https://www.vak2021.ru/>.

5.9. Тезисы докладов на международных конференциях

1. Anfinogentov S., Kaltman T.L., Stupishyn A., Nakariakov V.M., Loukitcheva M. Microwave observations of coronal jets // The 16th European Solar Physics Meeting (ESPM-16). Virtual online meeting, 6–10 September, 2021: Abstracts. 2021. <https://indico.ict.inaf.it/event/794/>.

2. Astafyeva E.I., Yasyukevich Yu.V., Maletckii B.M., Oinats A.V., Vesnin A.M., Yasyukevich A., Syrovatskii S.V. Large- and small-scale ionospheric disturbances during the 25–26 August 2018 geomagnetic storm: multi-instrumental analysis // AGU Fall Meeting 13–17 December 2021 New Orleans LA, USA: online: Abstracts. 2021. Ст. SA25A-1937. <https://agu.confex.com/agu/fm21/meetingapp.cgi/Home/0>.

3. Astafyeva E.I., Yasyukevich Yu.V., Yasyukevich A., Maletckii B.M., Syrovatskii S.V. High-latitude ionospheric irregularities during the 25–26 August 2018 geomagnetic storm as seen by ground-based and space-borne instruments // URSI GASS 2021. 34th General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science. Rome, Italy, 28 August – 4 September, 2021: Abstracts. Rome, 2021. Ст. Th-G08-AM1-2. DOI 10.23919/URSIGASS51995.2021.9560317.

4. Borodkova N.L., Sapunova O.V., Eseevich V.G., Zastenker G.N., Yermolaev Yu.I. Comparison of Plasma and Magnetic Overshoots of Interplanetary // EGU General Assembly 2021. 19–30 April, 2021: Abstracts. 2021. PEGU21–10163. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-10163>.

5. Chelpanov A. Waves in the lower atmosphere of coronal hole regions // The 16th European Solar Physics Meeting (ESPM-16). Virtual online meeting, 6–10 September, 2021: Abstracts. 2021. <https://indico.ict.inaf.it/event/794/>.

6. Chelpanov M., Mager O.V. ULF wave observations in the ionosphere using the EKB coherent radar // 3rd ISEE Symposium PWING-ERG Conference and School on the Inner Magnetosphere: Online Conference. ISEE, Nagoya, Japan, March 8-12, 202: Abstract Book. 2021. P. 8. http://is.isee.nagoya-u.ac.jp/pwing-erg/img/Abstract_book_v3.pdf.

7. Danilova O.A., Ptitsyna N.G., Tyasto M.I., Sdobnov V.E. Cosmic rays geomagnetic thresholds dependence on the parameters of the geo- and magnetosphere during the 8 September 2017 storm // 13th International Conference and School “Problems of Geocosmos”. March 24–27, 2021, Saint Petersburg: Online Meeting: Abstracts. Saint Petersburg, 2021. Ст. STP018. <https://events.spbu.ru/events/geocosmos-2021>.

8. Duann Y., Chang L., Chiu Y.C., Salinas J.H., Dmitriev A., Ratovsky K.G., Medvedeva I.V., Vasilyev R.V., Mikhalev A.V., Liu Y., Lin C., Fang T.W. Comparison and validation of photochemical models for atomic oxygen ion retrieval from ground-based observations of 630.0 nm airglow near Irkutsk // AGU Fall Meeting 13–17 December 2021 New Orleans LA, USA: Online : Abstracts. 2021. Ст. SA34B-10. <https://agu.confex.com/agu/fm21/meetingapp.cgi/Home/0>.

9. Galkin I.A., Vesnin A.M., Reinisch B., Bilitza D. Predictability of ionosphere using assimilative empirical model IRTAM // EGU General Assembly 2021. 19–30 April, 2021: Abstracts. 2021. PEGU21-5718. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-5718>.

10. Galkin I.A., Vesnin A.M., Reinisch B., Bilitza D. Predictive properties of real-time assimilative IRI // URSI GASS 2021. 34th General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science. Rome, Italy, 28 August – 4 September, 2021: Abstracts. Rome, 2021. Ст. Fr-G14-PM1-2.

11. Globa M.V., Lesovoi S.V. Solar observations with upgraded Siberian Radio Helio-graph // Whole Heliosphere and Planetary Interactions Workshop Agenda, 13–17 September,

2021. Virtual Meeting: Abstracts. 2021. <https://cpaess.ucar.edu/meetings/2021/whole-heliosphere-planetary-interactions-agenda>.

12. Kaltman T.L., Stupishin A., Anfinogentov S., Shendrik A., Nakariakov V.M., Loukitcheva M. Catalogue of hot jets in the solar corona // The 16th European Solar Physics Meeting (ESPM-16). Virtual online meeting, 6–10 September, 2021: Abstracts. 2021. <https://indico.ict.inaf.it/event/794/>.

13. Kaltman T.L., Stupishin A., Anfinogentov S., Nakariakov V.M., Loukitcheva M., Shendrik A. Catalogue of hot solar jets and prospects for its development // XVIIth Hvar Astrophysical Colloquium “The Sun and Heliosphere”. 20–24 September 2021: online: Abstracts. 2021. P. 36. <https://oh.geof.unizg.hr/images/meetings/XVII-HAC/xvii-hac-abstract-book.pdf>.

14. Karak B.B., Mordvinov A.V., Banerjee D., Chatterjee S., Golubeva E.M., Khlystova A.I. Long-term evolution of the Sun's magnetic field during cycles 15-19 based on their proxies from Kodaikanal Solar Observatory // XVIIth Hvar Astrophysical Colloquium “The Sun and Heliosphere”. 20–24 September 2021: Online: Abstracts. 2021. P. 15. <https://oh.geof.unizg.hr/images/meetings/XVII-HAC/xvii-hac-abstract-book.pdf>.

15. Kashapova L.K. Radio signatures of solar flares // The 16th European Solar Physics Meeting (ESPM-16). Virtual Online Meeting, 6–10 September, 2021: Abstracts. 2021. <https://indico.ict.inaf.it/event/794/>.

16. Kashapova L.K., Zhdanov D.A. Energy release processes during the partially occluded flare on 29th May 2020, according to microwave observations // RHESSI-20 Workshop: Preparing for the Next Decade in High-Energy Solar Physics Research. July 6–9, 2021. Virtual Meeting: Abstracts. 2021. <https://agenda.infn.it/event/25934/timetable/>.

17. Kiselev V., Meshalkina N.S., Grechnev V.V. Relationships between the spectra of near-Earth proton enhancements, hard X-ray bursts, and CME speeds // XVIIth Hvar Astrophysical Colloquium “The Sun and Heliosphere”. 20–24 September 2021: Online: Abstracts. 2021. P. 43. <https://oh.geof.unizg.hr/images/meetings/XVII-HAC/xvii-hac-abstract-book.pdf>.

18. Khlystova A.I., Zhukova A.V., Abramenko V., Sokoloff D.D. A Catalog of bipolar active regions violating the Hale's polarity law // The 16th European Solar Physics Meeting (ESPM-16). Virtual Online Meeting, 6–10 September, 2021: Abstracts. 2021. <https://indico.ict.inaf.it/event/794/>.

19. Klimushkin D., Mager P., Zong Q. Generation of the ULF waves by a moving surface impulse on the magnetopause // IAGA-IASPEI-2021. 21–27 August 2021, Hyderabad, India: CSIR, 2021. Ст. Sr No: 391. P. 298. [http://iaga-iaspei-india2021.in/NGRI_IAGA%20IASPEI%202021%20\(Final\)_13%20Sep%202021.pdf](http://iaga-iaspei-india2021.in/NGRI_IAGA%20IASPEI%202021%20(Final)_13%20Sep%202021.pdf).

20. Klimushkin D., Mager P. Generation of the Alfvén waves by a pressure pulse moving on the magnetopause // 13th International Conference and School “Problems of Geocosmos”. March 24–27, 2021, Saint Petersburg: Online Meeting: Abstracts. Saint Petersburg, 2021. Ст. STP021. <https://events.spbu.ru/events/geocosmos-2021>.

21. Kolotkov D. Solar corona as an active medium for magnetoacoustic waves // 47th EPS Conference on Plasma Physics. 21–25 June 2021: Virtual Meeting: Abstracts. 2021. Ст. I3.403. <http://ocs.ciemat.es/EPS2021ABS/html/contrib.html>.

22. Kolotkov D. Modulation of the coronal radio emission by fast magnetoacoustic waves and perspectives of seismological probing the Sun's corona with SKA // SKA Science Conference “A precursor view of the SKA sky”, March 15–19, 2021: Abstracts. 2021. <https://skao.eventsair.com/science21/speakers-list>.

23. Kosovichev A.G., Pipin V.V. Helioseismic observations and modeling of solar dynamo // Cool Stars 20.5 — virtually cool on March 2–4 2021 in Memory of John Stauffer: Abstracts. 2021. <http://coolstars20.cfa.harvard.edu/cs20half/zenodo.html>.

24. Kosovichev A.G., Pipin V.V., Getling A.V. Helioseismic observations of dynamo processes in the solar interior // Heliophysics 2050. May 3–7, Virtual Meeting: Abstracts. 2021. P#2001. <https://www.hou.usra.edu/meetings/helio2050/>.

25. Kosovichev A.G., Getling A.V., Pipin V.V. Helioseismic observations and modeling of solar dynamo // The 20.5th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun (CS20.5), virtually anywhere, March 2–4, 2021: Abstracts. 2021. Pid.115. DOI: 10.5281/zenodo.4563263; <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021csss.confE.115K/abstract>.
26. Kostarev D.V., Mager P., Klimushkin D. Alfvén wave parallel electric field in the dipole model of the magnetosphere // 13th International Conference and School «Problems of Geocosmos». March 24–27, 2021, Saint Petersburg: Online Meeting: Abstracts. Saint Petersburg, 2021. Cr. STP083. <https://events.spbu.ru/events/geocosmos-2021>.
27. Kupriyanova E.G., Kolotkov D., Kashapova L.K., Kudryavtseva A., Tan C., Reid H.A.S. Different properties of microwave and decimetric QPPs in a solar radio burst // The 16th European Solar Physics Meeting (ESPM-16). Virtual Online Meeting, 6–10 September, 2021: Abstracts. 2021. <https://indico.ict.inaf.it/event/794/>.
28. Kurkin V.I., Oinats A.V., Beletskii A.B., Vasilyev R.V., Kalashnikov Yu.V., Marchuk R., Polekh N.M., Zolotukhina N.A., Shiokawa K., Nishitani N. Disturbances of the subpolar ionosphere over the Asian part of Russia during the geomagnetic storms of 2017–2020 // 3rd ISEE Symposium PWING-ERG conference and school on the inner magnetosphere: Online Conference. ISEE, Nagoya, Japan, March 8–12, 2021: Abstract Book. 2021. P. 40. http://is.isee.nagoya-u.ac.jp/pwing-erg/img/Abstract_book_v3.pdf.
29. Kuznetsov A.A. Fine structures in LOFAR solar data // Sub-second structures in low frequency solar radio observations. Online hands-on workshop. 30 March – 1st April 2021, University of Glasgow, UK: Abstracts. 2021. <http://www.astro.gla.ac.uk/~sophie/radioworkshop#program>.
30. Liu J., Shiokawa K., Oyama S.-I., Otsuka Y., Woo Jun C., Nosé M., Nagatsuma T., Sakaguchi K., Kadokura A., Ozaki M., Connors M., Baishev D.G., Nishitani N., Oinats A.V., Kurkin V.I., Raita T. Statistical study of longitudinal extent of Pc1 pulsations using seven PWING ground stations at subauroral latitudes // AGU Fall Meeting 13–17 December 2021 New Orleans LA, USA: Online: Abstracts. 2021. Cr. SM44A-02. <https://agu.confex.com/agu/fm21/meetingapp.cgi/Home/0>.
31. Mikhailova O.S., Klimushkin D., Mager P. The spatial structure of ULF ion-ion hybrid waves in the magnetosphere's plasma enriched with heavy ions // 13th International Conference and School “Problems of Geocosmos”. March 24–27, 2021, Saint Petersburg: Online Meeting: Abstracts. Saint Petersburg, 2021. Cr. STP032. <https://events.spbu.ru/events/geocosmos-2021>.
32. Mikhailova O.S., Mager P., Mager O.V., Klimushkin D. Experimental observation of the transverse Alfvénic resonator for Pc4 pulsations: a Van Allen Probes case study // 3rd ISEE Symposium PWING-ERG Conference and School on the Inner Magnetosphere: Online Conference. ISEE, Nagoya, Japan, March 8–12, 2021: Abstract Book. 2021. P. 47. http://is.isee.nagoya-u.ac.jp/pwing-erg/img/Abstract_book_v3.pdf.
33. Mordvinov A.V., Karak B.B., Banerjee D., Chatterjee S., Golubeva E.M., Khlystova A.I. Multiple reversals of the Sun's polar-fields and their physical causes // Advances in Observations and Modelling of Solar Magnetism and Variability. 1–4 March, 2021: Abstract Book. 2021. P. 67. https://www.iiap.res.in/solar_2021/.
34. Mordvinov A.V., Karak B.B., Banerjee D., Chatterjee S., Golubeva E.M., Khlystova, A.I. Reconstruction of solar magnetic field during Cycles 15–19 based on proxies from Kodaikanal Solar Observatory // The 16th European Solar Physics Meeting (ESPM-16). Virtual Online Meeting, 6–10 September, 2021: Abstracts. 2021. <https://indico.ict.inaf.it/event/794/>.
35. Perevalova N.P., Tashchilin A.V., Romanova E.B. GNSS potential for detection of high-latitude ionospheric structures // 43rd COSPAR Scientific Assembly. Held 28 January – 4 February, 2021: Abstracts. 2021. Cr. C0.2-0024-21. id. 558. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021cosp43E.558P/abstract>.
36. Pipin V.V. Dynamo cycles in slow and fast rotating solar analogs // The 20.5th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun (CS20.5), virtually anywhere, March 2–4, 2021: Abstracts. 2021. Pid. 304. DOI: 10.5281/zenodo.4586965; <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021csss.confE.304P/abstract>.

37. Popov A.A., Gavrilov N.M., Perminov V.I., Pertsev N.N., Medvedeva I.V., Ammosov, P., Gavrilyeva G., Kaltovskoi I.I. Coherent and non-coherent components of mesoscale variations of hydroxyl rotational temperature near the mesopause // EGU General Assembly 2021. 19–30 April, 2021: Abstracts. 2021. PEGU21-8336. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-8336>.
38. Rubtsov A.V., Mikhailova O.S., Klimushkin D., Ren J., Zong Q. Observation of the dayside Pc4-5 wave before the substorm // IAGA-IASPEI-2021. 21–27 August 2021, Hyderabad, India: CSIR, 2021. Ct. Sr No: 382. P. 292. [http://iaga-iaspei-india2021.in/NGRI_IAGA%20IASPEI%202021%20\(Final\)_13%20Sep%202021.pdf](http://iaga-iaspei-india2021.in/NGRI_IAGA%20IASPEI%202021%20(Final)_13%20Sep%202021.pdf).
39. Rubtsov A.V., Mikhailova O.S., Klimushkin D., Ren J., Zong Q.G. Global observation of poloidal Pc4-5 waves in the magnetosphere before and during substorm // 3rd ISEE Symposium PWING-ERG Conference and School on the Inner Magnetosphere: Online Conference. ISEE, Nagoya, Japan, March 8–12, 2021: Abstract Book. 2021. P. 70. http://is.isee.nagoya-u.ac.jp/pwing-erg/img/Abstract_book_v3.pdf.
40. Shiokawa K., Takeshita Y., Miyoshi Y., Jordanova V.K., Ozaki M., Manninen J., Oyama S., Kasahara Y., Connors M., Baishev D.G., Kurkin V.I., Oinats A.V. Global development of magnetospheric ELF/VLF waves observed by multi-point ground stations and satellites and modeled by the RAM-SCB simulations // IAGA-IASPEI-2021. 21–27 August 2021, Hyderabad, India: CSIR, 2021. Ct. Sr No: 399. P. 304. [http://iaga-iaspei-india2021.in/NGRI_IAGA%20IASPEI%202021%20\(Final\)_13%20Sep%202021.pdf](http://iaga-iaspei-india2021.in/NGRI_IAGA%20IASPEI%202021%20(Final)_13%20Sep%202021.pdf).
41. Shikhovtsev A.Yu., Khaikin V., Kopylov E.A., Lukin V.P., Shmagin V. Comparison of the parameters of turbulence and phase fluctuations of the atmosphere in the optical and sub-mm ranges: evaluation of the possibilities of using adaptive optics methods for measuring and correcting the tip-tilt of the wave front on the ESMT // First Moscow International Conference “Submillimeter and Millimeter Astronomy: Objectives and Instruments”. AstroSpaceCenter, Moscow, 12–16 April, 2021: Programme & Abstracts. 2021. P. 73. <http://ism.rsu.ru/mm.php>.
42. Shikhovtsev A.Yu., Khaikin V., Kovadlo P.G., Kopylov E.A. Astroclimatic characteristics of the Sayan Solar Observatory and the Special Astrophysical Observatory sites for ground-based mm/submm astronomy // First Moscow International Conference “Submillimeter and Millimeter Astronomy: Objectives and Instruments”. AstroSpaceCenter, Moscow, 12–16 April, 2021: Programme & Abstracts. 2021. P. 74. <http://ism.rsu.ru/mm.php>.
43. Smotrova E.E., Klimushkin D., Mager P. Resonance interaction between Alfvénic waves and charged particles in Earth’s magnetosphere under asymmetric boundary conditions on the ionosphere: the quarter-wave case // IAGA-IASPEI-2021. 21–27 August 2021, Hyderabad, India: CSIR, 2021. Ct. Sr No: 383. P. 293. [http://iaga-iaspei-india2021.in/NGRI_IAGA%20IASPEI%202021%20\(Final\)_13%20Sep%202021.pdf](http://iaga-iaspei-india2021.in/NGRI_IAGA%20IASPEI%202021%20(Final)_13%20Sep%202021.pdf).
44. Stejko A.M., Kosovichev A.G., Pipin V.V. Modeling helioseismic signatures of meridional circulation // The 20.5th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun (CS20.5), virtually anywhere, March 2–4, 2021: Abstracts. 2021. Pid. 114. DOI: 10.5281/zenodo.4563256; <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021csss.confE.114S/abstract>.
45. Syrenova T., Beletsky A.B. AGW manifestations in the Earth neutral atmosphere and ionosphere // EGU General Assembly 2021. 19–30 April, 2021: Abstracts. 2021. PEGU21-4243. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-4243>.
46. Vashishth V., Karak B.B., Kitchatinov L.L. Sub-critical dynamos and hysteresis in the Babcock-Leighton type kinematic dynamo // Advances in Observations and Modelling of Solar Magnetism and Variability. 1–4 March, 2021: Abstract Book. 2021. P. 67. https://www.iiap.res.in/solar_2021/.
47. Yasyukevich A., Sivtseva V., Medvedeva I.V., Chernigovskaya M.A., Ammosov P., Gavrilyeva G. Stratospheric jet stream as a possible source for similar seasonal variations of the short-term variability in the ionosphere, upper mesosphere and subpolar stratosphere // EGU General Assembly 2021. 19–30 April, 2021: Abstracts. 2021. PEGU21-7651. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-7651>.

48. Yasyukevich A., Sivtseva V., Medvedeva I.V., Chernigovskaya M.A., Ammosov P., Gavriilyeva G. Stratospheric jet stream as a possible source for the enhanced short period variability in the ionosphere, upper mesosphere and stratosphere during winter months // IAGA-IASPEI-2021. 21–27 August 2021, Hyderabad, India: CSIR, 2021. Ст. Sr No: 158. P. 128. [http://iaga-iaspei-india2021.in/NGRI_IAGA%20IASPEI%202021%20\(Final\)_13%20Sep%202021.pdf](http://iaga-iaspei-india2021.in/NGRI_IAGA%20IASPEI%202021%20(Final)_13%20Sep%202021.pdf).
49. Yasyukevich Yu.V., Zatolokin D.A., Yasyukevich A., Vesnin A.M., Nava B., Wang N., Li Z. Ionosphere models validation: TEC and positioning domain // AGU Fall Meeting 13–17 December 2021 New Orleans LA, USA: Online: Abstracts. 2021. Ст. SA44B-09. <https://agu.confex.com/agu/fm21/meetingapp.cgi/Home/0>.
50. Yasyukevich Yu.V., Syrovatskii S.V., Padokhin A., Frolov V.L., Vesnin A.M., Zatolokin D.A., Kurbatov G., Zagretidinov R.V., Pershin A.V., Yasyukevich A. GPS positioning accuracy during the 2016 September and 2010 August campaigns at the SURA heater // URSI GASS 2021. 34th General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science. Rome, Italy, 28 August – 4 September, 2021: Abstracts. Rome, 2021. Ст. Th-G16-PM2-2. DOI: 10.23919/URSIGASS51995. 2021.9560199.
51. Yasyukevich Yu.V., Kiselev A.V., Zhivetiev I.V., Edemskiy I.K., Syrovatskii S.V., Maletckii B.M., Vesnin A.M. Total electron content products from SIMuRG // URSI GASS 2021. 34th General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science. Rome, Italy, 28 August – 4 September, 2021: Abstracts. Rome, 2021. Ст. We-G08-AM1-2.
52. Yasyukevich Yu.V., Astafyeva E.I., Oinats A.V., Vesnin A.M., Yasyukevich A., Vasiliev A., Garashchenko A.A., Sidorov D. Multi-instrumental view of the auroral oval // PIERS-2021. Hangzhou, November 21–22, 2021: Abstracts. 2021. <https://hz2021.piers.org/program.html>.
53. Yasyukevich Yu.V., Yasyukevich A., Zatolokin D.A. Assessing the Performance of Models for Ionospheric Correction for Single-frequency GNSS Positioning // PIERS-2021. Hangzhou, November 21–22, 2021: Abstracts. 2021. <https://hz2021.piers.org/program.html>.
54. Zhukova A.V., Sokoloff D.D., Abramenko V., Khlystova A.I. The N–S-asymmetry of the different magneto-morphological types active regions in the 23rd and 24th solar cycles // The 16th European Solar Physics Meeting (ESPM-16). Virtual online meeting, 6–10 September, 2021: Abstracts. 2021. <https://indico.ict.inaf.it/event/794/>.
55. Алтынцев А.Т., Лесовой С.В., Мешалкина Н.С., Глоба М.В., Жданов Д.А., Мышьяков И.И. Многоволновый радиогелиограф: слабые транзиентные явления в короне Солнца // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021» (Крым-2021). п. Научный, 31 августа – 3 сентября 2021 г.: тез. докл. 2021. С. 19. <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>.
56. Артамонов М.Ф., Васильев Р.В., Кириченко К.Е., Саункин А.В. Сезонно-суточная динамика параметров нейтральной атмосферы Земли в Тункинской котловине // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва : тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 132. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.
57. Афанасьев Н.Т., Ким Д.Г., Танаев А.Б., Чудаев С.О. Математическое моделирование частотных флуктуаций радиосигнала в верхней атмосфере // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 117. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.
58. Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Подлесный С.В., Тацилин М.А., Васильев Р.В., Татарников А.В. Методика оценки прозрачности атмосферы в темное время суток по данным широкоугольных оптических систем // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 140. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.
59. Белецкий А.Б., Насыров И.А., Сыренова Т.Е., Когогин Д.А., Грач С.М., Шиндин А.В., Загретдинов Р.В. Вариации параметров атмосферы и ионосферы Земли во время

воздействия мощного коротковолнового радиоизлучения стенда «Сура» // Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений: XII международная конференция, с. Паратунка, Камчатский край, 27 сентября – 1 октября 2021 г.: сб. тез. докл. Паратунка: ИКИР ДВО РАН, 2021. С. 15. <http://www.ikir.ru/ru/Events/Conferences/2021-XII/index.html>.

60. Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Васильев Р.В., Татарников А.В., Щеглова Е.С. Мониторинг прозрачности атмосферы в ночное время на основе данных оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса // Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений: XII международная конференция, с. Паратунка, Камчатский край, 27 сентября – 1 октября 2021 г.: сб. тез. докл. Паратунка: ИКИР ДВО РАН, 2021. С. 25. <http://www.ikir.ru/ru/Events/Conferences/2021-XII/index.html>.

61. Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Татарников А.В., Васильев Р.В., Щеглова Е.С. Методика оценки прозрачности атмосферы в темное время суток по данным широкоугольных наземных камер // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

62. Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Татарников А.В., Щеглова Е.С., Тащилин М.А., Васильев Р.В. Предварительные результаты оценки прозрачности атмосферы в темное время суток по данным оптического комплекса Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

63. Большасова Л.А., Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Лукин В.П. Статистика высотного распределения скорости ветра над специальной астрофизической обсерваторией // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 30. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

64. Васильев Р.В., Латышева И.В. Метеорология околоземного космического пространства как дисциплина и профессия // Первая междунар. конф. по космическому образованию «Дорога в космос». 5–8 октября 2021 года М., ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 58–60. <https://roadtospace.cosmos.ru/>.

65. Васильев Р.В., Артамонов М.Ф., Белецкий А.Б., Медведева И.В., Подлесный С.В., Сыренова Т.Е., Ткачев И.Д., Медведев А.В. Оптические инструменты Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва : тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 6. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

66. Васильев Р.В., Ойнац А.В., Калашников Ю.В. Анализ грозовой активности в приполярной области по ОНЧ сигналам атмосферика с приемников PWING // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конф. посв. памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г. : сб. тез. докл. Иркутск, 2021. С. 36. https://kpfu.ru/staff_files/F_1906037262/Klimaticheskie_riski_i_kosmicheskaya_pogoda.pdf.

67. Васильев Р.В., Вологжина С.Ж., Латышева И.В., Лукьянова Е.П. Метеорологические и климатические фактора формирования высоких уровней загрязнения атмосферного воздуха г. Саянска // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конф. посв. памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: сб. тез. докл. Иркутск, 2021. С. 36–37. https://kpfu.ru/staff_files/F_1906037262/Klimaticheskie_riski_i_kosmicheskaya_pogoda.pdf.

68. Веснин А.М., Сергеева М.А., Киселев А.В., Черногор Е.А., Ясюкевич Ю.В. Поиск ионосферного отклика на локализованные воздействия по данным разреженных сетей приемников GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

69. Вологжина С.Ж., Латышева И.В., Латышев С.В., Лощенко К.А. Современные особенности ветрового режима вблизи тропопаузы в южных районах Иркутской области // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 86. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

70. Danilova O.A., Ptitsyna N.G., Tyasto M.I., Sdobnov V.E. Control of the cosmic rays cutoff rigidity by the parameters of the magnetosphere and solar wind during a strong magnetic storm in early September 2017 // 44-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». Апатиты, 15–19 марта 2021 г.: тез. докл. Апатиты, 2021. Р. 41. <http://pgia.ru/seminar/>.

71. Данильчук Е.И., Демьянов В.В. Аналитическая оценка частоты девиации в спектре мерцаний фазы несущей навигационных сигналов и ее экспериментальная верификация // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

72. Данильчук Е.И., Демьянов В.В. Оценка частоты девиации в спектре мерцаний фазы с помощью аналитической модели // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конф. посв. памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: сб. тез. докл. Иркутск, 2021. С. 77. https://kpfu.ru/staff_files/F_1906037262/Klimaticheskie_riski_i_kosmicheskaya_pogoda.pdf.

73. Демьянов В.В., Ясюкевич Ю.В. Воздействие космической погоды на функционирование глобальных навигационных спутниковых систем // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конф. посв. памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: сб. тез. докл. Иркутск, 2021. С. 22. https://kpfu.ru/staff_files/F_1906037262/Klimaticheskie_riski_i_kosmicheskaya_pogoda.pdf.

74. Добрынин В.А., Сорокин А.Г. Об инфразвуковой станции нового поколения ИСЗФ СО РАН // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 104. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

75. Добрынин В.А. О программном комплексе инфразвуковой станции ИСЗФ СО РАН // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конф. посв. памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: сб. тез. докл. Иркутск, 2021. С. 61–62. https://kpfu.ru/staff_files/F_1906037262/Klimaticheskie_riski_i_kosmicheskaya_pogoda.pdf.

76. Домбровская Н.С., Мордвинов В.И., Зоркальцева О.С. Анализ собственных низкочастотных колебаний в стратомезосфере // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 122. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

77. Домбровская Н.С., Мордвинов В.И., Зоркальцева О.С. Вертикальная структура низкочастотных колебаний стратомезосферы // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конф. посв. памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: сб. тез. докл. Иркутск, 2021. С. 77. https://kpfu.ru/staff_files/F_1906037262/Klimaticheskie_riski_i_kosmicheskaya_pogoda.pdf.

78. Едемский И.К., Ойнац А.В. Определение параметров ПИВ по данным спутников КВ радара ЕКВ и спутников SWARM // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

79. Едемский И.К., Ясюкевич Ю.В., Веснин А.М., Киселев А.В. Динамические карты вариаций ROTI // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

80. Золотухина Н.А., Полех Н.М., Куркин В.И., Белецкий А.Б., Ойнац А.В. Высокоширотные атмосферные эмиссии во время IPDP 9 ноября 2017 г. // XXVII Междунар.

симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 132. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

81. Зоркальцева О.С., Васильев Р.В., Саункин А.В., Подлесный С.В. Реакция мезосферы и нижней термосферы на динамику нижележащей атмосферы // Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений: XII международная конференция, с. Паратунка, Камчатский край, 27 сентября – 01 октября 2021 г.: сб. тез. докл. Паратунка: ИКИР ДВО РАН, 2021. С. 33. <http://www.ikir.ru/ru/Events/Conferences/2021-XII/index.html>.

82. Иванова В.А., Подлесный А.В., Рыбкина А.А., Поддельский А.И. Волновое ионосферное возмущение, зарегистрированное во время магнитной бури 20 апреля 2018 г. // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 133. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

83. Иванова В.А., Цедрик М.В., Подлесный А.В., Поддельский А.И. Связь между амплитудными и частотными характеристиками КВ-радиосигналов на фоне рентгеновских солнечных вспышек // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 133. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

84. Иванова В.А., Ойнац А.В., Подлесный А.В., Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б., Пономарчук С.Н., Рыбкина А.А. Среднемасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения на высотах области E по данным инструментов ГФО ИСЗФ СО РАН // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

85. Ишин А.Б., Воейков С.В., Ишина Т., Черемисин В.В. Анизотропия ионосферных эффектов землетрясения в Новой Зеландии 13 ноября 2016 г. // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 125. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

86. Караханян А.А., Молодых С.И. Влияние атмосферной циркуляции на климатические изменения в спокойных условиях и в периоды геомагнитных возмущений // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 130. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

87. Киселев А.В., Ковадло П.Г., Колобов Д.Ю., Русских И.В., Шиховцев А.Ю. Исследование искажений волновых фронтов, формируемых на разных высотах в атмосфере // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 26. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

88. Klimenko M., Klimenko V.V., Bessarab F.S., Karpachev A.T., Ratovsky K.G., Yasyukevich Yu.V., Sukhodolov T., Rozanov E.V. Results, problems, and perspectives of empirical and numerical modeling of the high-latitude ionosphere // 44-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». Апатиты, 15–19 марта 2021 г.: тез. докл. Апатиты, 2021. P. 55. <http://pgia.ru/seminar/>.

89. Клименко М.В., Ратовский К.Г., Клименко В.В., Бессараб Ф., Суходолов Т.В., Розанов Е.В. Влияние нейтральной атмосферы на вариативность электронной концентрации в ионосфере для зимнего солнцестояния // Междунар. симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2021). 29 июня – 2 июля 2021, Санкт-Петербург: Сб. тезисов. Санкт-Петербург, 2021. С. 100. <https://events.spbu.ru/events/isard-2021>.

90. Ключилов А.В., Ишин А.Б., Воейков С.В. Отклик ионосферы на запуск FALCON HEAVY по данным наземных приемников ГНСС // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 125. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

91. Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю. Характеристики искажений волновых фронтов в скрещенных оптических пучках по наблюдениям субизображений структуры солнечной фотосферы // Междунар. симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2021). 29 июня – 2 июля 2021, Санкт-Петербург: Сб. тезисов. Санкт-Петербург, 2021. С. 116. <https://events.spbu.ru/events/isard-2021>.

92. Купряков Ю.А., Котрч П., Кашапова Л.К. Анализ эруптивного события после вспышки 7 июня 2011 года // Междунар. конф. «Идеи С.Б. Пикельнера и С.А. Каплана и современная астрофизика». 8–12 февраля 2021 г. ГАИШ, Москва: Сборник резюме докладов. М., 2021. С. 24. http://www.sai.msu.ru/EAAS/rus/confs/Conf_21/index.html.

93. Кушнаренко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Дневная электронная плотность на высотах слоя F1 во время геомагнитных возмущений на ст. Иркутск // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 116. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

94. Латышев С.В., Олемской С.В. Результаты статистического анализа временных рядов солнечной активности и численное моделирование неустойчивости в тахоклине // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конф. посв. памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: Сб. тез. докл. Иркутск, 2021. С. 22–23. https://kpfu.ru/staff_files/F_1906037262/Klimaticheskie_riski_i_kosmicheskaya_pogoda.pdf.

95. Латышева И.В., Вологжина С.Ж., Латышев С.В., Лощенко К.А., Мельников Б.В. Исследование динамики климата в районе высокогорной станции Монды // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 87. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

96. Латышева И.В., Белоусова Е.П., Олемской С.В. Циркуляционные факторы изменений климата на территории Сибири // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конф. посв. памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: Сб. тез. докл. Иркутск, 2021. С. 44. https://kpfu.ru/staff_files/F_1906037262/Klimaticheskie_riski_i_kosmicheskaya_pogoda.pdf.

97. Линникова С.А., Олемской С.В. Сравнительный анализ опасных явлений погоды на аэропортах Иркутск и Иркутск-2 // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конф. посв. памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: Сб. тез. докл. Иркутск, 2021. С. 66. https://kpfu.ru/staff_files/F_1906037262/Klimaticheskie_riski_i_kosmicheskaya_pogoda.pdf.

98. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Исследование эффектов зимних внезапных стратосферных потеплений по наблюдениям на средних и высоких широтах // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 130. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

99. Медведева И.В., Ратовский К.Г., Толстикова М.В., Хабитуев Д.С. Сравнительный анализ проявления активности короткопериодных атмосферных волн в различных областях атмосферы Земли // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 132. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

100. Медведева И.В., Ратовский К.Г., Толстикова М.В. Межгодовые изменения температуры области мезопаузы и максимума электронной концентрации в 24-м солнечном цикле // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

101. Молодых С.И., Караханян А.А., Кириченко К.Е. Влияние солнечной активности на циркуляцию атмосферы и поверхностные течения в океане // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 128. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

102. Молчанова Н.О., Полетаев А.С., Васильев Р.В., Ченский А.Г. Обзор атмосферных эффектов, связанных с грозowymi разрядами // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конф. посв. памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: сб. тез. докл. Иркутск, 2021. С. 84. https://kpfu.ru/staff_files/F_1906037262/Klimaticheskie_riski_i_kosmicheskaya_pogoda.pdf.

103. Обридко В.Н., Соколов Д.Д., Пипин В.В., Шибалова А.С. Среднесрочные колебания солнечной активности // 44-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». Апатиты, 15–19 марта 2021 г.: тез. докл. Апатиты, 2021. С. 52. <http://pgia.ru/seminar/>.

104. Ойнац А.В. О пространственных вариациях параметров СМПИВ по данным КВ-радаров // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

105. Пенских Ю.В., Лунюшкин С.Б., Капустин В.Э. Авроральные овалы в двух полушариях для разных уровней магнитной активности по данным наземного геомагнитного метода // 44-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». Апатиты, 15–19 марта 2021 г.: тез. докл. Апатиты, 2021. С. 23. <http://pgia.ru/seminar/>.

106. Перевалова Н.П., Шестаков Н.В., Guojie M., Wu W. Возмущения в ионосфере, вызванные подземным ядерным испытанием в Северной Корее 3 сентября 2017 года // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

107. Podgorny A.I., Podgorny I.M., Borisenko A.V., Meshalkina N.S. Choice of conditions for MHD simulations above the active region, allowing the study of the solar flare mechanism // 44-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». Апатиты, 15–19 марта 2021 г.: тез. докл. Апатиты, 2021. Р. 44. <http://pgia.ru/seminar/>.

108. Подлесный С.В., Зоркальцева О.С., Васильев Р.В. Сопоставление интенсивности свечения атомарного кислорода на длине волны 557,7 нм и зеленого канала цветной ПЗС-камеры // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конф. посв. памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: сб. тез. докл. Иркутск, 2021. С. 87–88. https://kpfu.ru/staff_files/F_1906037262/Klimaticheskie_riski_i_kosmicheskaya_pogoda.pdf.

109. Подлесный С.В. Сравнение данных об относительной влажности по данным ERA5 с данными о прозрачности ночной атмосферы фотокамеры ФИЛИН-Ц в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (пос. Торы) // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конф. посв. памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: сб. тез. докл. Иркутск, 2021. С. 87. https://kpfu.ru/staff_files/F_1906037262/Klimaticheskie_riski_i_kosmicheskaya_pogoda.pdf.

110. Полех Н.М., Золотухина Н.А., Куркин В.И. Динамика отрицательного ионосферного возмущения над Северной и Северо-Восточной Азией во время магнитной бури 14–17 июля 2012 г. // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

111. Пономарчук С.Н., Грозов В.П., Котович Г.В., Куркин В.И., Ойнац А.В., Подлесный А.В. Определение параметров ионосферы по данным зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 131. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

112. Саункин А.В., Васильев Р.В., Зоркальцева О.С. Сравнение интенсивностей свечения атомарного кислорода 557.7 нм полученных спутниковым и наземным методами над Восточной Сибирью // Междунар. симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2021). 29 июня – 2 июля 2021, Санкт-Петербург: Сб. тезисов. Санкт-Петербург, 2021. С. 130. <https://events.spbu.ru/events/isard-2021>.

113. Саункин А.В., Васильев Р.В., Зоркальцева О.С. Интенсивность свечения атомарного кислорода 557.7 нм по спутниковым и наземным наблюдениям над Восточной Сибирью // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 126. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

114. Саункин А.В., Васильев Р.В., Зоркальцева О.С. Сравнение интенсивности свечения атомарного кислорода 557.7 нм полученных спутниковым и наземным методами над Восточной Сибирью // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конф. посв. памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г.: Сб. тез. докл. Иркутск, 2021. С. 89. https://kpfu.ru/staff_files/F_1906037262/Klimaticheskie_riski_i_kosmicheskaya_pogoda.pdf.

115. Серебренникова С.А., Ясюкевич Ю.В., Веснин А.М., Киселев А.В. Оценка границ локализации возмущений высокоширотной ионосферы по данным GPS/ГЛОНАСС // 44-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». Апатиты, 15–19 марта 2021 г.: тез. докл. Апатиты, 2021. С. 65. <http://pgia.ru/seminar/>.

116. Серебренникова С.А., Ясюкевич Ю.В., Веснин А.М. Мониторинг авроральной активности по данным глобальных навигационных спутниковых систем с использованием модели машинного обучения Random Forest // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

117. Сетов А.Г., Лебедев В.П., Кушнарев Д.С. Обработка данных наблюдения за космическими объектами в реальном времени с помощью GPU на Иркутском радаре некогерентного рассеяния (ИРНР) // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

118. Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Белоусова Е.П. Характеристики грозовых кластеров для Байкальской природной территории за 2012-2018гг. // Климатические риски и космическая погода. Междунар. конф. посв. памяти Н.К. Кононовой. Иркутск, 14–17 июня 2021 г. : сб. тез. докл. - Иркутск, 2021. С. 70. https://kpfu.ru/staff_files/F_1906037262/Klimaticheskie_riski_i_kosmicheskaya_pogoda.pdf.

119. Толстикова М.В., Ойнац А.В., Ратовский К.Г., Медведева И.В., Медведев А.В. Метод оценки меридиональной и зональной скорости нейтрального ветра по статистике наблюдений двумерного вектора фазовой скорости внутренних гравитационных волн // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

120. Толстикова М.В., Ратовский К.Г., Медведева И.В., Хабитуев Д.С. Оценка влияния стратосферной активности на ионосферную активность по данным спектрометрических и радиофизических измерений на комплексе инструментов ИСЗФ СО РАН // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

121. Тащилин А.В., Леонович Л.А. Оценка вариаций параметров термосферы в ходе магнитной бури по данным спутниковых измерений плотности термосферы // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 129. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

122. Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Белоусова Е.П. Кластерный анализ молниевых разрядов по данным грозопеленгационной сети “ВЕРЕЯ - МР” для Байкальской природной территории // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 141. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.

123. Толстикова М.В., Ойнац А.В., Ратовский К.Г., Медведева И.В., Медведев А.В. Метод оценки меридиональной и зональной скорости нейтрального ветра по статистике наблюдений двумерного вектора фазовой скорости внутренних гравитационных волн // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.
124. Толстикова М.В., Ратовский К.Г., Медведева И.В., Хабитуев Д.С. Оценка влияния стратосферной активности на ионосферную активность по данным спектрометрических и радиофизических измерений на комплексе инструментов ИСЗФ СО РАН // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.
125. Khalipov V.L., Leonovich A.S., Sibeck D. The impact of developed Alfvén turbulence of the solar wind magnetic field on processes in the Earth's inner magnetosphere // 44-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». Апатиты, 15–19 марта 2021 г.: тез. докл. Апатиты, 2021. Р. 32. <http://pgia.ru/seminar/>.
126. Шиховцев А.Ю., Zhang L., Ran X., Rao C., Киселев А.В., Ковадло П.Г., Колобов Д.Ю., Русских И.В. Сравнительный анализ оптической турбулентности в солнечной обсерватории озера Фучзянь и Байкальской астрофизической обсерватории // XXVII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 5–9 июля 2021 г., Москва: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 23. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/27/i1>.
127. Яковлева И.П., Тащилин М.А., Татарников А.В., Щеглова Е.С. Вариации мелкодисперсных и грубодисперсных компонент аэрозольной оптической толщи атмосферы в Тункинской долине в 2004–2020 гг. // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.
128. Язев С.А., Томозов В.М. Вспышки в комплексах активности на Солнце // Междунар. конф. «Идеи С.Б. Пикельнера и С.А. Каплана и современная астрофизика». 8–12 февраля 2021 г. ГАИШ, Москва: Сборник резюме докладов. М., 2021. С. 46. http://www.sai.msu.ru/EAAS/rus/confs/Conf_21/index.html.
129. Язев С.А., Лобанов А.В. Инновационное образовательное мультимедиа пособие с методическими рекомендациями «Солнце и жизнь Земли». Заявка № 20-2-022239 // Первая междунар. конф. по космическому образованию «Дорога в космос». 5–8 октября 2021 года М., ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 321–322. <https://roadtospace.cosmos.ru/>.
130. Язев С.А., Меркулов М.А., Семенов Д.В. Популяризация и пропаганда космонавтики в Иркутске: опыт и перспективы // Первая междунар. конф. по космическому образованию «Дорога в космос». 5–8 октября 2021 года М., ИКИ РАН: Сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 324. <https://roadtospace.cosmos.ru/>.
131. Ясюкевич А.С., Хабитуев Д.С. Характеристики мелкомасштабных волновых возмущений, связанных с эволюцией струйного течения в зимней стратосфере и нижней мезосфере // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.
132. Ясюкевич Ю.В., Ясюкевич А.С., Затолокин Д.А., Данильчук Е.И. Оценка эффективности моделей ионосферы для коррекции одночастотного координатного решения при позиционировании по ГНСС // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.
133. Ясюкевич Ю.В., Падохин А.М., Демьянов В.В., Веснин А.М., Ясюкевич А.С., Курбатов Г.А. Особенности использования новых сигналов и систем GNSS в задачах дистанционного зондирования ионосферы // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные

проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

134. Ясюкевич Ю.В., Сыроватский С.И., Падохин А.М., Фролов В.Л., Веснин А.М., Затолокин Д.А., Курбатов Г.А., Загретдинов Р.В., Першин А.В., Ясюкевич А.С., Данильчук Е.И. GPS-навигация в стандартном и высокоточном режимах при воздействии на ионосферу мощного КВ-излучения нагревного стенда СУРА // Девятнадцатая междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–19 ноября 2021 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2021. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

СОДЕРЖАНИЕ

Структура Института	3
1. О выполнении постановления Правительства РФ № 1504 от 26.12.2014 г. «Об осуществлении бюджетных инвестиций в проектирование и строительство объектов капитального строительства «Укрупненный инвестиционный проект «Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук», 1 этап», распоряжение Правительства от 01.12.2018 №2659-р.	6
Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Радиогелиограф	6
Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Оптические инструменты	8
Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Солнечный телескоп-коронограф	10
2. Основные научные результаты	12
2.1 Исследования в области физики Солнца, радиоастрофизики и космических лучей	12
2.1.1. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности	12
2.1.1.1. Вариации циклов солнечного динамо в зависимости от скорости вращения Солнца	13
2.1.1.2. Развитие активности и эволюция полярных магнитных полей Солнца в циклах 21–24	13
2.1.1.3. Долговременная вариация северо–южной асимметрии солнечной активности	14
2.1.2. Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца ...	15
2.1.2.1. Теория теплового радиоизлучения многокомпонентной многотемпературной плазмы	15
2.1.2.2. Исследование МГД-колебаний в корональных дырах	16
2.1.2.3. Морфология временных профилей солнечных вспышек	17
2.1.3. Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства	18
2.1.3.1. Поиск колебаний солнечного типа у звезд на стадии до главной последовательности. Можно ли найти молодые Солнца?	18
2.1.3.2. Спектроскопические измерения красных смещений скоплений галактик из обзора обсерватории им. Планка и наблюдения этих скоплений в обзоре SRG/eROZITA	19
2.1.3.3. Оптическое отождествление кандидатов в активные ядра галактик, обнаруженных телескопом ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории SRG в ходе рентгеновского обзора всего неба	20
2.1.4. Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей	21
2.1.4.1. Наземное возрастание интенсивности космических лучей на фазе спада 24-го солнечного цикла: спектры и анизотропия	21
2.1.4.2. Зависимость геомагнитных порогов космических лучей от параметров гелио- и геомагнитосферы во время бури 7–8 сентября 2017 г.	22
2.1.4.3. Об ускорении частиц в постоянном магнитном поле и перпендикулярном ему электрическом поле, нарастающем во времени	23

2.1.4.4. Оценка возможного развития высокоэнергичного гамма-излучения вспышек в 23-м цикле на основе использования характеристик солнечных вспышек в 24-м цикле активности	24
2.1.4.5. Наблюдение космических лучей на станциях ИСЗФ СО РАН	24
2.2. Исследования в области физики околоземного космического пространства	25
2.2.1. Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн	25
2.2.1.1. Программный комплекс для восстановления нейтрального ветра в D- и E-областях ионосферы по наблюдениям метеорного рассеяния на декаметровых радарх	25
2.2.1.2. Методика калибровки радаров ИСЗФ СО РАН по наблюдениям за рассеянием на метеорных следах	26
2.2.1.3. Оценка влияния стратосферной активности на ионосферную волновую активность с периодами внутренних гравитационных волн	27
2.2.1.4. Экспериментальная оценка воздействия нагрева ионосферы мощным коротковолновым излучением на GPS-позиционирование	28
2.2.1.5. Влияние 27-дневных вариаций солнечной активности на систему термосфера-ионосфера	29
2.2.1.6. Исследование волновой изменчивости критической частоты F2-слоя во время сильных внезапных стратосферных потеплений	30
2.2.1.7. Статистический анализ экстремальных ионосферных событий	31
2.2.1.8. Исследование радиолокационных характеристик космического аппарата в ионосфере при включении бортовых жидкостных реактивных двигателей в космических экспериментах «Плазма-Прогресс» и «Радар-Прогресс»	32
2.2.1.9. Программный комплекс моделирования радиолокационного сигнала	33
2.2.1.10. Исследование сезонной и суточной динамики радишума среднеширотных радаров в диапазоне 8–20 МГц	34
2.2.2. Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов ...	35
2.2.2.1. Определение параметров ионосферы по данным зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом	35
2.2.2.2. Определение параметров перемещающихся ионосферных возмущений по ионограммам вертикального зондирования с дополнительными U-образными треками	36
2.2.2.3. Волновое ионосферное возмущение, зарегистрированное во время магнитной бури 20 апреля 2018 г.	37
2.2.2.4. Связь между амплитудными и частотными характеристиками КВ-радиосигналов на фоне рентгеновских солнечных вспышек	38
2.2.2.5. Особенности эмиссий 630.0 и 557.7 нм в области главного ионосферного провала 17 марта 2015 г.	39
2.2.2.6. Высокоширотные атмосферные эмиссии во время IPDP 9 ноября 2017 г.	40

2.2.2.7. Долготные вариации геомагнитных и ионосферных параметров в Северном полушарии во время магнитных бурь по данным мультиинструментальных наблюдений	41
2.2.1.8. Анализ возможностей коррекции ионосферных ошибок радиотехнических систем при использовании данных ГНСС	42
2.2.1.9. Исследование электромагнитных волн КНЧ/ОНЧ диапазона магнитосферного происхождения во время геомагнитных возмущений в марте и ноябре 2017 г. ...	43
2.2.3. Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий	44
2.2.1.1. Анализ атмосферной циркуляции внетропических широт Северного полушария и ее влияния на связь уходящей длинноволновой радиации с приповерхностной температурой в различных геомагнитных условиях	44
2.2.1.2. Влияние солнечной активности на поле скоростей в атмосфере, ветровые напряжения на границе океан — атмосфера и поверхностные океанические течения	45
2.2.3.3. Сравнительный анализ эффектов зимних внезапных стратосферных потеплений в верхней атмосфере средних и высоких широт	46
2.2.3.4. Проявление эффектов сезонной перестройки циркуляции средней атмосферы на высотах мезопаузы	47
2.2.3.5. Долготные вариации отклика среднеширотной ионосферы северного полушария на сильную геомагнитную бурю по данным мультиинструментальных наблюдений	48
2.2.3.6. Исследование связи долготных неоднородностей ионосферных возмущений в Северном полушарии во время геомагнитной бури с возмущениями термосферного молекулярного газа	49
2.2.3.7. Признаки аномального поведения ионосферы в 2003–2014 гг. на высотах слоя F1 над Иркутском	50
2.2.3.8. Поведение электронной концентрации в ионосфере над Норильском в период спада солнечной активности	51
2.2.3.9. Воздействие солнечных радиовспышек на стабильность приема сигналов GPS	51
2.2.3.10. Отклик ионосферы на запуск ракеты-носителя Falcon Heavy по данным наземных приемников ГНСС	52
2.2.3.11. Возмущения в ионосфере, вызванные извержением вулкана Пик Сарычева	53
2.2.3.12. Морфологические свойства ионосферы Восточно-Азиатского региона при различных уровнях солнечной и геомагнитной активности	55
2.2.4. Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике	56
2.2.4.1. Исследование природы долгоживущего метеорного следа	56
2.2.4.2. Стратосферное влияние на мезосферу — нижнюю термосферу над средними широтами по данным интерферометра Фабри — Перо	57
2.2.4.3. Сезонно-суточная динамика параметров нейтральной атмосферы Земли в Тункинской котловине	57

2.2.4.4. Исследование свечения атомарного кислорода в мезопаузе наземными и спутниковыми средствами	58
2.2.4.5. Динамика аэрозоля в Байкальском регионе	59
2.2.4.6. Кластеризация координат отдельных молниевых разрядов для исследования гроз	60
2.2.5. Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера	61
2.2.5.1. Многоспутниковые наблюдения альфвеновских волн, генерируемых градиентной неустойчивостью и находящихся в баунс-дрейфовом резонансе с энергичными протонами кольцевого тока	61
2.2.5.2. Наблюдение компрессионных УНЧ-волн на Екатеринбургском среднеширотном когерентном радаре	62
2.2.5.3. Физические процессы в ионном форшоке околоземной ударной волны: теоретическая модель и наблюдательные данные	63
2.2.5.4. Морфология и диагностический потенциал ионосферного альфвеновского резонатора	63
2.2.5.5. Теория частотно-модулированных ультранизкочастотных волн в околоземном космическом пространстве	64
2.2.5.6. Кинетические альфвеновские волны вблизи диссипативного слоя	64
2.2.5.7. Поле альфвеновских колебаний, генерируемых ударной волной вблизи плазмопаузы	65
2.2.5.8. Затухающие возмущения в бесстолкновительных звездных системах	66
2.2.5.9. Интегральные уравнения для задач о распространении волн в околоземной плазме	67
2.2.5.10. Изучение особенностей безотражательного распространения волн в пространственно-неоднородных течениях	68
2.2.5.11. О групповой скорости свистящих атмосфериков	68
2.2.5.12. Динамика продольных токов в двух полушариях Земли в ходе магнитосферной бури по данным техники инверсии магнитограмм	69
2.2.5.13. Динамика асимметрии распределения продольных токов во время суббурь в сезон равноденствия	69
2.2.5.14. Эффекты второго порядка при генерации альфвеновских волн в плазме с давлением	70
2.2.5.15. Оценка вариаций параметров термосферы в ходе магнитной бури по данным спутниковых измерений плотности термосферы	70
2.2.5.16. Альфвеновский резонанс в трехмерно-неоднородной модели магнитосферы	71
2.2.5.17. Черенковская генерация быстрого магнитного звука импульсом давления солнечного ветра	71
2.2.5.18. Продольное электрическое поле альфвеновской волны	72
2.2.5.19. Обзор теории и экспериментальных данных по взаимодействию долгопериодических УНЧ-волн и заряженных частиц в магнитосфере	72

2.2.5.20. Наблюдения длительной полоидальной УНЧ-волны с помощью нескольких космических аппаратов	73
2.2.6. Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля	73
2.2.6.1. Обнаружение источника генерации радиовсплеска II типа на ударной волне, обусловленной корональным выбросом массы 13 июня 2010 г.	73
2.2.6.2. Простой способ нахождения направления движения корональных выбросов массы в трехмерном пространстве	74
2.2.6.3. Влияние взрывных процессов на Солнце на углы наклона силовых линий магнитного поля в тени пятен	75
2.2.6.4. Зональные гармоника магнитного поля Солнца и прогноз солнечного цикла	76
2.2.6.5. Модифицированный метод обнаружения турбулентных слоев в пограничном слое атмосферы для Большого солнечного вакуумного телескопа	77
2.2.6.6. Вариации космических лучей в ноябре 2012 г.	79
2.2.6.7. Оценка эффективности ионосферных моделей для ионосферной коррекции при одночастотном позиционировании методами GPS/ГЛОНАСС	80
2.2.6.8. Анализ воздействия космической погоды на функционирование глобальных навигационных спутниковых систем	80
2.2.6.9. Метод оценки ионосферного отклика на локализованное событие по данным глобальных навигационных спутниковых систем	81
2.2.6.10. Регистрация высокоширотных ионосферных неоднородностей во время магнитной бури 25–26 августа 2018 г. по данным спутниковых и наземных данных	82
2.2.6.11. Прогнозирование полного электронного содержания ионосферы Земли на основе градиентного бустинга и искусственных нейронных сетей	84
2.3. Развитие методов и аппаратуры исследований в области астрофизики и геофизики	85
2.3.1. Методы и инструменты астрофизического эксперимента	85
2.3.1.1. Работы по вводу в эксплуатацию хромосферного гида-искателя солнечного синоптического телескопа (СОЛСИТ)	85
2.3.1.2. Анализ физических особенностей полосы пропускания интерференционно-поляризационных фильтров (ИПФ)	86
2.3.1.3. Повышение динамического диапазона яркостных температур радиоизображений Сибирского радиогелиографа	86
2.3.1.4. Микроволновый индикатор потенциальной геоэффективности и жгутовая магнитная структура солнечной активной области	87
2.3.1.5. Изучение астроклиматических характеристик и проблем улучшения качества изображений крупных солнечных телескопов	88
2.3.1.6. Создание широкоугольного зеркального объектива	89
3. Работа обсерваторий	90
3.1. Байкальская астрофизическая обсерватория	90
3.2. Саянская солнечная обсерватория	91
3.3. Радиоастрофизическая обсерватория	93

3.4. Геофизическая обсерватория	94
3.5. Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы	96
3.6. Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория	97
3.6.1. Магнитная обсерватория	97
3.6.2. Байкальская магнитно-теллурическая обсерватория	99
3.7. Норильская магнитно-ионосферная станция	100
3.8. Центр коллективного пользования «Ангара»	101
3.9. Уникальные научные установки	102
3.9.1. Сибирский солнечный радиотелескоп	102
3.9.2. Иркутский радар некогерентного рассеяния	102
3.9.3. Большой солнечный вакуумный телескоп	106
4. Научно-организационная работа	107
4.1. Общие сведения	107
4.2. Деятельность Ученого совета	109
4.3. Деятельность диссертационного совета	109
4.4. Международное сотрудничество	110
4.5. Издательская деятельность	112
4.6. Работа библиотеки	112
4.7. Образовательная деятельность	113
4.8. Работа с вузами	118
4.9. Работа Научно-образовательного центра	118
4.10. Работа музея ИСЗФ СО РАН	119
4.11. Работа Совета научной молодежи Института	120
4.12. Проведение научных мероприятий	121
4.13. Участие в выставках	123
4.14. Участие в научных мероприятиях	124
4.14.1. Российские	124
4.14.2. Международные	125
5. Публикации	126
5.1. Российские издания	126
5.2. Зарубежные издания (включая переводные)	129
5.3. Монографии и учебные издания	137
5.4. РИД	137
5.5. Электронные издания	138
5.6. Доклады на российских конференциях	139
5.7. Доклады на международных, в том числе зарубежных, конференциях	143

5.8. Тезисы докладов на российских конференциях	147
5.9. Тезисы докладов на международных, в том числе зарубежных, конференциях ...	156
Содержание	169

Отв. редактор ***И.И. Салахутдинова***
Редакторы ***Н.О. Волкова, М.В. Никонова***
Технические редакторы ***М.В. Никонова, Н.О. Волкова***

Отчет утвержден Ученым советом ИСЗФ СО РАН 28 декабря 2021 г., протокол № 6.

Сдано в набор 10.11.2021 г. Подписано к печати 04.04.2022 г.

Формат 60×90 1/8. Гарнитура *Times New Roman*.

Усл. печ. л. 22. Уч.-изд. л. 26,4. Тираж 10. Электронная версия без ограничений

***Отпечатано в ИП Юмашев Олег Николаевич,
664001, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1***